

电子工业技术词典

电阻、电容与电感

国防工业出版社

R
73.6072
174.15

电子工业技术词典

电阻、电容与电感

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

56.5/8



内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》(试用本)的基础上作了较大修改和增补而编写的。本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照,书后附有英文索引,合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前,将先分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序,将视具体情况而定。

本分册是《词典》的第六章电阻、电容与电感的内容,它包括:电阻器和电位器,各种敏感电阻器,有机介质电容器,陶瓷、云母、玻璃和玻璃釉电容器,电解电容器,可变电容器,电感等。

电子工业技术词典

电阻、电容与电感

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 6⁵/₈ 136 千字

1977年2月第一版 1977年2月第一次印刷 印数:00,001—28,000册

统一书号:17034·29-20 定价:0.73元

前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- | | |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础； | 二、基本电子线路； |
| 三、网络分析与综合； | 四、电波传播与天线； |
| 五、信息论； | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路； | 八、磁性材料与器件； |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件； |
| 十一、电线与电缆； | 十二、电子管； |
| 十三、半导体； | 十四、电源； |
| 十五、其它元器件； | 十六、通信； |

32589

- | | |
|----------------|------------------|
| 十七、广播与电视； | 十八、雷达； |
| 十九、导航； | 二十、自动控制与遥控、遥测； |
| 二十一、电子对抗； | 二十二、电子计算机； |
| 二十三、系统工程； | 二十四、电子技术的其它应用； |
| 二十五、微波技术； | 二十六、显示技术； |
| 二十七、红外技术； | 二十八、激光技术； |
| 二十九、电声； | 三十、超声； |
| 三十一、声纳； | 三十二、专用工艺设备与净化技术； |
| 三十三、电子测量技术与设备； | 三十四、可靠性。 |

各章互有联系，并尽量避免章节间词汇的重复，故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录，正文中各词汇后附有英文对照，最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版，各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作，自始至终是在毛主席革命路线的指引下，在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主，自力更生”的伟大方针，坚持了群众路线，实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学两个三结合，以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限，加上时间仓促，虽然作了很大努力，但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处，恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

目 录

电 阻

一、电阻器与电位器

电阻器.....	6-1	片式电阻器.....	6-6
固定电阻器.....	6-2	电阻网络.....	6-6
可变电阻器.....	6-2	高压电阻器.....	6-6
线性电阻器.....	6-2	真空兆欧电阻器.....	6-6
非线性电阻器.....	6-2	高阻电阻器.....	6-6
通用电阻器.....	6-2	标准电阻器.....	6-6
线绕电阻器.....	6-2	滑线电阻器.....	6-6
精密线绕电阻器.....	6-2	可调线绕电阻器.....	6-6
大功率线绕电阻器.....	6-2	电阻率.....	6-7
高频线绕电阻器.....	6-2	标称阻值.....	6-7
非线绕电阻器.....	6-3	阻值允许误差.....	6-7
碳质合成实芯电阻器.....	6-3	精度.....	6-7
无机合成实芯电阻器.....	6-3	额定功率.....	6-7
有机合成碳质实芯电阻器.....	6-3	容许功率.....	6-7
膜式电阻器.....	6-3	临界阻值.....	6-7
合成碳膜电阻器.....	6-3	最高工作电压.....	6-7
碳膜电阻器.....	6-4	最大工作电流.....	6-7
热分解碳膜电阻器.....	6-4	电阻温度系数.....	6-7
硅碳膜电阻器.....	6-4	电压系数.....	6-7
特种碳膜电阻器.....	6-4	老化系数.....	6-8
超高频碳膜电阻器.....	6-4	高频特性.....	6-8
水冷式碳膜电阻器.....	6-4	电阻器噪声.....	6-8
金属膜电阻器.....	6-4	热噪声.....	6-8
精密金属膜电阻器.....	6-4	电流噪声.....	6-8
耐高温金属膜电阻器.....	6-5	基体.....	6-8
大功率金属膜电阻器.....	6-5	骨架.....	6-8
金属氧化膜电阻器.....	6-5	真空被碳.....	6-8
化学沉积膜电阻器.....	6-5	刻槽.....	6-9
氮化钽膜电阻器.....	6-5	电位器.....	6-9
块金属膜电阻器.....	6-5	线绕电位器.....	6-9
金属玻璃釉电阻器.....	6-5	非线绕电位器.....	6-9

合成碳膜电位器·····	6-10	非接触式电位器·····	6-12
实芯电位器·····	6-10	精度·····	6-12
有机实芯电位器·····	6-10	符合性·····	6-12
无机实芯电位器·····	6-10	直线性·····	6-12
金属膜电位器·····	6-10	阶梯特性·····	6-12
块金属膜电位器·····	6-10	跳变电压·····	6-12
导电塑料电位器·····	6-10	分辨力·····	6-13
金属玻璃釉电位器·····	6-10	平滑性·····	6-13
直线式电位器·····	6-11	动噪声·····	6-13
函数式电位器·····	6-11	等效噪声电阻·····	6-13
带开关电位器·····	6-11	零位电阻·····	6-13
多圈电位器·····	6-11	接触电阻·····	6-13
多联电位器·····	6-11	绝缘电阻·····	6-13
旋转式电位器·····	6-11	起动力矩·····	6-13
直滑式电位器·····	6-11	止挡力矩·····	6-13
微调电位器·····	6-11	转动力矩·····	6-14
抽头式电位器·····	6-11	起动力矩比·····	6-14
锁紧式电位器·····	6-11	耐磨寿命·····	6-14
精密电位器·····	6-11	触点材料·····	6-14
高频电位器·····	6-12		

二、敏感电阻器

敏感电阻器·····	6-15	薄膜热敏电阻器·····	6-18
1. 热敏电阻器·····	6-15	热敏电阻辐射热探测器·····	6-18
热敏电阻器·····	6-15	稳压热敏电阻器·····	6-18
正温系数热敏电阻器·····	6-15	高温热敏电阻器·····	6-19
负温系数热敏电阻器·····	6-16	超低温热敏电阻器·····	6-19
直热式热敏电阻器·····	6-16	钛酸钡热敏电阻器·····	6-19
旁热式热敏电阻器·····	6-16	玻璃热敏电阻器·····	6-19
棒状热敏电阻器·····	6-16	临界温度热敏电阻器·····	6-19
垫圈状热敏电阻器·····	6-16	单晶硅热敏电阻器·····	6-20
圆片热敏电阻器·····	6-17	单晶锗热敏电阻器·····	6-20
方片热敏电阻器·····	6-17	塑料热敏电阻器·····	6-20
薄片状热敏电阻器·····	6-17	实际电阻值·····	6-20
珠状热敏电阻器·····	6-17	工作点电阻·····	6-20
微针形热敏电阻器·····	6-17	测量功率·····	6-21
线管状热敏电阻器·····	6-17	耗散功率·····	6-21
厚膜热敏电阻器·····	6-18	额定功率·····	6-21

材料常数.....6-21	2. 光敏电阻器.....6-29
电阻温度系数.....6-21	光敏电阻器.....6-29
耗散常数.....6-22	紫外光敏电阻器.....6-30
时间常数.....6-22	可见光敏电阻器.....6-30
电压系数.....6-22	红外光敏电阻器.....6-30
热耦合系数.....6-22	硒光敏电阻器.....6-30
电阻-温度特性.....6-22	硅光敏电阻器.....6-30
伏安特性.....6-23	硫化镉光敏电阻器.....6-30
电阻-功率特性.....6-23	硒化镉光敏电阻器.....6-31
旁热特性.....6-23	硫硒化镉光敏电阻器.....6-31
延时特性.....6-23	碲化镉光敏电阻器.....6-31
热老化特性.....6-24	硫化铅光敏电阻器.....6-31
最大加热电流.....6-24	碲化铅光敏电阻器.....6-31
标称电压.....6-24	硒化铅光敏电阻器.....6-31
最大允许电压波动.....6-24	铋化镉光敏电阻器.....6-31
工作电流范围.....6-24	碲镉汞光敏电阻器.....6-32
最高工作温度.....6-24	光电电位器.....6-32
转变点温度.....6-24	光电效应.....6-32
开关温度.....6-25	光电导效应.....6-32
功率灵敏度.....6-25	本征光电导.....6-32
能量灵敏度.....6-25	杂质光电导.....6-33
峰值电压.....6-25	光谱特性.....6-33
热容量.....6-25	光谱响应范围.....6-33
噪声电势.....6-25	光谱响应峰值.....6-33
热噪声.....6-25	长波限.....6-33
机电效应.....6-25	光谱灵敏度.....6-33
互换性.....6-26	灵敏度.....6-33
热敏电阻温度补偿.....6-26	阻值变化倍数.....6-33
热敏电阻温度计.....6-26	暗电阻.....6-34
热敏电阻功率计.....6-26	亮电阻.....6-34
热敏电阻流量计.....6-27	电阻灵敏度.....6-34
热敏电阻真空计.....6-27	电流灵敏度.....6-34
热敏电阻稳压器.....6-27	亮电流.....6-34
放大器自动增益控制.....6-27	暗电流.....6-34
热敏电阻开关.....6-28	光电流.....6-34
马达过热保护.....6-28	比灵敏度.....6-34
热敏电阻延迟继电器.....6-28	积分灵敏度.....6-34
振荡器振幅自动控制.....6-28	积分比灵敏度.....6-34

时间常数	6-34	电压比	6-40
弛豫时间	6-35	固有电容	6-40
温度系数	6-35	静态电阻	6-40
电流温度系数	6-35	动态电阻	6-40
伏安特性	6-35	4. 磁敏电阻器	6-40
最高工作电压	6-35	磁敏电阻器	6-40
最大耗散功率	6-35	磁控电阻器	6-41
照度特性	6-35	场板	6-41
斜率值	6-35	栅板	6-41
照度指数	6-35	磁敏电位器	6-41
历史效应	6-35	磁电阻效应	6-41
记忆效应	6-35	横向磁电阻	6-41
3. 压敏电阻器	6-35	纵向磁电阻	6-41
压敏电阻器	6-35	几何磁电阻效应	6-41
碳化硅压敏电阻器	6-36	短路条	6-41
氧化锌压敏电阻器	6-36	5. 力敏电阻器	6-42
结型氧化锌压敏电阻器	6-37	力敏电阻器	6-42
体型氧化锌压敏电阻器	6-37	硅力敏电阻器	6-42
硅压敏电阻器	6-37	硒碲合金力敏电阻器	6-42
锗压敏电阻器	6-38	压力电阻效应	6-42
膜式压敏电阻器	6-38	压力电阻系数	6-43
单颗粒层压敏电阻器	6-38	6. 气敏电阻器	6-43
对称型压敏电阻器	6-38	气敏电阻器	6-43
非对称型压敏电阻器	6-38	灵敏度	6-43
伏安特性	6-38	伏安特性	6-44
非线性系数 α	6-38	电阻-温度特性	6-44
非线性系数 β	6-39	7. 湿敏电阻器	6-44
C 值	6-39	湿敏电阻器	6-44
K 值	6-39	氯化锂湿敏电阻器	6-44
耐浪涌能力	6-39	碳湿敏电阻器	6-45
通流能力	6-39	氧化物湿敏电阻器	6-45
功率特性	6-39	湿度特性	6-45
电压温度系数	6-39	时间常数	6-45
电流温度系数	6-40	湿滞效应	6-45
电阻温度系数	6-40		

电 容

一、电容器基本知识

电容器	6-46	功率因数	6-49
电介质的极化	6-46	品质因数	6-49
介质吸收	6-46	损耗因数	6-50
电容量	6-47	等效串联电阻	6-50
标称电容量	6-47	等效并联电阻	6-50
电容量误差	6-47	电介质击穿	6-50
介电常数	6-47	电介质击穿强度	6-50
电容温度系数	6-47	电介质绝缘强度	6-50
电容量温度变化百分率	6-47	电晕和电晕电压	6-50
电容量温度稳定性系数	6-48	击穿	6-51
电介质的电阻率	6-48	击穿电压	6-51
漏电流	6-48	额定工作电压	6-51
绝缘电阻	6-48	试验电压	6-51
时间常数	6-48	电感	6-51
充电	6-49	比特性	6-51
放电	6-49	温度特性	6-52
损耗	6-49	频率特性	6-52
介质损耗	6-49	稳定性	6-52
损耗角正切	6-49	可燃性	6-52

二、有机介质电容器

有机介质电容器	6-52	金属化纸介电容器	6-54
聚乙烯电容器	6-52	穿心式纸介电容器	6-55
聚苯乙烯电容器	6-52	复合介质电容器	6-55
聚四氟乙烯电容器	6-53	双面金属化纸-塑料薄膜电容器	6-55
金属化聚四氟乙烯电容器	6-53	陶瓷-有机材料混合薄膜电容器	6-55
聚丙烯电容器	6-53	聚对二甲苯薄膜电容器	6-56
聚对苯二甲酸乙二酯电容器	6-53	贮能电容器	6-56
聚碳酸酯电容器	6-53	非极性有机电介质	6-56
聚酰亚胺电容器	6-54	极性有机电介质	6-56
聚砒电容器	6-54	聚乙烯薄膜	6-56
漆膜电容器	6-54	聚苯乙烯薄膜	6-57
纸介电容器	6-54	聚四氟乙烯薄膜	6-57

聚丙烯薄膜·····	6-57	有机硅油·····	6-60
聚对苯二甲酸乙二酯薄膜·····	6-57	聚异丁烯·····	6-60
聚碳酸酯薄膜·····	6-58	自愈作用·····	6-60
聚酰亚胺薄膜·····	6-58	预涂漆·····	6-60
聚砒薄膜·····	6-58	金属化·····	6-60
电容器纸·····	6-58	芯子卷绕·····	6-61
乙基纤维素·····	6-58	芯子的热处理·····	6-61
氰乙基纤维素·····	6-59	芯子端面喷金属·····	6-61
电容器油·····	6-59	干燥和浸渍·····	6-61
凡士林·····	6-59	电压老炼·····	6-61
纯地蜡·····	6-59	电泳涂漆·····	6-62

三、陶瓷、云母、玻璃和玻璃釉介电容器

瓷介电容器·····	6-62	块状瓷介电容器·····	6-66
陶瓷电容器·····	6-62	半导体陶瓷电容器·····	6-66
I型瓷介电容器·····	6-62	阻挡层电容器·····	6-66
高频瓷介电容器·····	6-62	还原氧化型陶瓷电容器·····	6-67
温度补偿瓷介电容器·····	6-62	边界层陶瓷电容器·····	6-67
Ⅱ型瓷介电容器·····	6-62	反铁电贮能陶瓷电容器·····	6-67
低频瓷介电容器·····	6-63	微调瓷介电容器·····	6-67
铁电陶瓷电容器·····	6-63	圆片形微调瓷介电容器·····	6-67
高功率瓷介电容器·····	6-63	管形微调瓷介电容器·····	6-68
高压瓷介电容器·····	6-63	线绕微调瓷介电容器·····	6-68
低压瓷介电容器·····	6-63	独石微调瓷介电容器·····	6-68
圆片形瓷介电容器·····	6-63	喷银·····	6-68
圆片形超高频瓷介电容器·····	6-63	丝网印银·····	6-68
管形瓷介电容器·····	6-63	涂银·····	6-68
密封管形瓷介电容器·····	6-64	印银·····	6-68
迭片瓷介电容器·····	6-64	烧银·····	6-69
穿心式瓷介电容器·····	6-64	银浆·····	6-69
支柱式瓷介电容器·····	6-65	云母电容器·····	6-69
圆片形高压瓷介电容器·····	6-65	箔式云母电容器·····	6-69
鼓形高压瓷介电容器·····	6-65	半密封云母电容器·····	6-69
管形高功率瓷介电容器·····	6-65	密封云母电容器·····	6-69
瓶形(罐形)高功率瓷介电容器·····	6-65	云母纸电容器·····	6-69
筒形高功率瓷介电容器·····	6-66	独石云母电容器·····	6-69
板形高功率瓷介电容器·····	6-66	云母·····	6-70
独石瓷介电容器·····	6-66	白云母·····	6-70

金云母.....	6-70	注射成型.....	6-71
云母粉.....	6-70	玻璃膜电容器.....	6-71
合成云母.....	6-70	玻璃釉电容器.....	6-71
真空浸渍.....	6-70	管形玻璃微调电容器.....	6-71
压胶.....	6-71	电容器玻璃.....	6-71
浸涂封装.....	6-71	碱玻璃.....	6-72
灌注.....	6-71	无碱玻璃.....	6-72

四、电解电容器

电解电容器.....	6-72	钽箔电解电容器.....	6-76
比容.....	6-74	钽丝电解电容器.....	6-76
自愈.....	6-74	铌电解电容器.....	6-76
极性.....	6-74	钛电解电容器.....	6-77
铝电解电容器.....	6-74	钽-铌合金电解电容器.....	6-77
组合式铝电解电容器.....	6-74	双电层效应电容器.....	6-77
计算机级大容量铝电解电容器.....	6-74	工作电解质.....	6-77
无极性铝电解电容器.....	6-75	高纯铝箔.....	6-77
交流铝电解电容器.....	6-75	阴极引出箔.....	6-77
长寿命-宽温度范围铝电解电容器.....	6-75	衬垫.....	6-78
迭层式铝电解电容器.....	6-75	钽粉.....	6-78
非固体铝电解电容器.....	6-75	铌粉.....	6-78
固体铝电解电容器.....	6-75	铝箔的腐蚀.....	6-78
钽电解电容器.....	6-76	阳极氧化膜的形成.....	6-78
固体钽电解电容器.....	6-76	阳极的烧结.....	6-79
非固体钽电解电容器.....	6-76	被膜.....	6-79

五、可变电容器

可变电容器.....	6-79	槽片.....	6-80
最大电容量.....	6-79	空气可变电容器.....	6-80
最小电容量.....	6-79	真空可变电容器.....	6-81
电容曲线.....	6-79	充气可变电容器.....	6-81
电容量的同步性.....	6-79	固体介质可变电容器.....	6-81
再定稳定度.....	6-80	液体介质可变电容器.....	6-81
转动力矩.....	6-80	直线电容式可变电容器.....	6-81
微音效应.....	6-80	直线频率式可变电容器.....	6-81
静电噪音.....	6-80	直线波长式可变电容器.....	6-81
动片.....	6-80	电容对数式可变电容器.....	6-82
定片.....	6-80	主调可变电容器.....	6-82

微调电容器·····	6-82	圆筒形可变电容器·····	6-83
半可变电容器·····	6-82	差动可变电容器·····	6-83
补偿电容器·····	6-82	蝶式可变电容器·····	6-83
单联可变电容器·····	6-82	扩展角可变电容器·····	6-83
双联可变电容器·····	6-82	复合可变电容器·····	6-84
多联可变电容器·····	6-82	调频调幅可变电容器·····	6-84
平板形可变电容器·····	6-83		

电 感

电感器·····	6-85	阻流圈·····	6-86
固定电感器·····	6-85	扼流圈·····	6-87
可变电感器·····	6-85	音频阻流圈·····	6-87
微调电感器·····	6-85	高频阻流圈·····	6-87
色码电感器·····	6-85	滤波阻流圈·····	6-87
平面电感器·····	6-86	调幅阻流圈·····	6-87
膜电感·····	6-86	阴极输出阻流圈·····	6-87
集成电感器·····	6-86	饱和阻流圈·····	6-87
高Q电感·····	6-86	饱和电抗器·····	6-88
天线线圈·····	6-86	充电阻流圈·····	6-88
振荡线圈·····	6-86		

电 阻

一、电阻器与电位器

电阻器

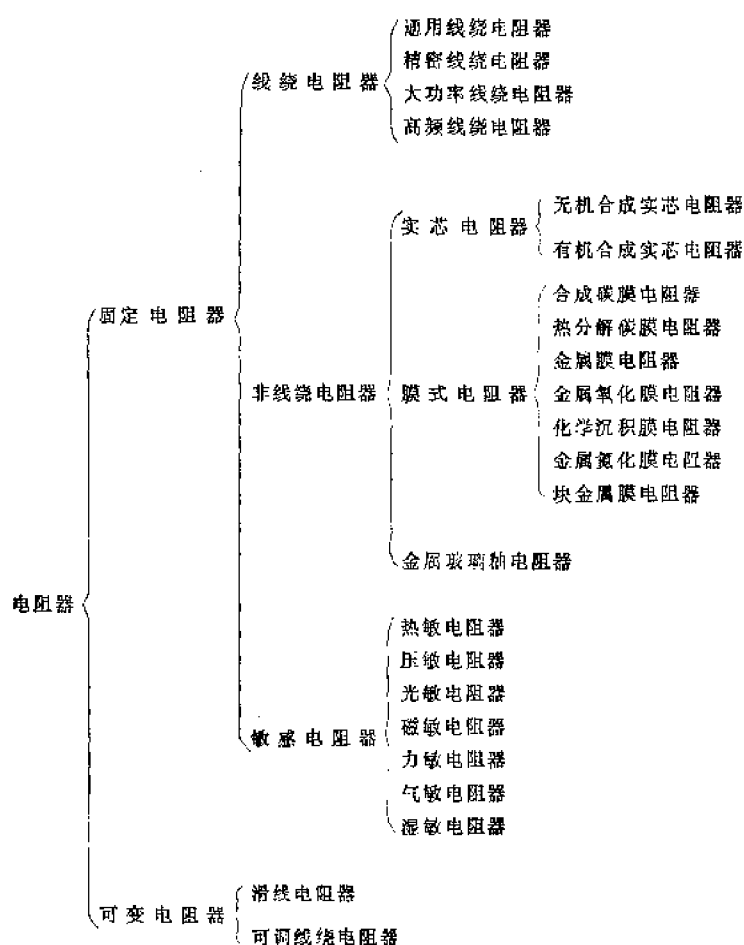
resistor

具有一定阻值、一定几何形状、一定技术性能的,在电路中专起电阻作用的元件,称为电阻器。通常简称电阻。电阻器的结构多数由电阻体、基体(骨架)、引出端等构成(如薄膜电阻器、线绕电阻器);也有由电阻体、引出端等构成(如实芯电阻器)。它可以制成

棒形、管形、片形等各种形状。它的主要用途是:稳定和调节电路中的电流和电压,作为分流器和分压器,以及作为消耗电能的负载电阻器。

电阻器的主要参数有标称阻值、额定功率、精度等级、温度系数、噪声、老化系数、潮热系数和使用条件等。

电阻器的分类见表。



固定电阻器

fixed resistor

指制成后阻值固定、不能任意调整阻值的电阻器。如各种实芯电阻器、膜式电阻器等。

可变电阻器

variable resistor

可变电阻器也叫变阻器，系指制成后具有一定的阻值，应用时可根据需要在一定范围内调整阻值的电阻器。它有滑线电阻器和可调线绕电阻器两种。变阻器是一个两端元件，可以把变阻器看成是电位器使用时的一种特殊形式，通常电位器也可以作变阻器使用。

变阻器主要用于稳定和调节电流。

线性电阻器

linear resistor

这种电阻器在一定的使用条件下，加在其两端的电压与通过的电流的关系服从欧姆定律。如各种膜式电阻器、线绕电阻器等。

非线性电阻器

non-linear resistor

在规定的使用条件下，加在电阻器上的电压和通过的电流的关系，不服从欧姆定律，这种电阻器称为非线性电阻器。如压敏电阻器、热敏电阻器等。

通用电阻器

general purpose resistor

通用电阻器是指一般用途的电阻器。线绕电阻器和非线绕电阻器均可作为通用电阻器使用。这种电阻器的应用范围很广，阻值范围一般为 5.1 欧~10 兆欧；功率 0.125~2 瓦，少数为 5 瓦和 10 瓦，在线绕电阻器中功率还可以更高一些；工作电压一般不超过 1 千伏；其精度有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三级。

线绕电阻器

wire-wound resistor

线绕电阻器是用电阻丝绕在绝缘骨架上

构成的。电阻丝一般采用具有一定电阻率的镍铬、锰铜等合金制成。绝缘骨架是由陶瓷、塑料、涂覆绝缘层的金属等材料制成管形、扁形等各种形状。电阻丝在骨架上根据需要可以绕制一层，也可绕制多层，或采用无感绕法等。

精密线绕电阻器

precision wire-wound resistor

精密线绕电阻器是用经过特制的、温度系数很小的、对铜的热电势较低的电阻丝绕成。绕成电阻器后须经过特殊处理，以提高电阻器的稳定性。

为了免受外界因素的影响，通常用玻璃、陶瓷管密封，或用环氧树脂以及其它材料包封。

小型精密线绕电阻器的精度可达 1~0.01%，功率为 0.125~2 瓦，阻值为 0.1 欧~6 兆欧，电阻温度系数一般为 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，按特殊要求可达 $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，在额定负载下老化 2000 小时后，阻值变化小。这种电阻器可用在高精度的测量仪器 and 精密的无线电与电工设备中。

大功率线绕电阻器

high-power wire-wound resistor

这种线绕电阻器的特点是耗散功率大，可达几百瓦，主要作大功率负载使用，可用在 $+150 \sim +300^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内。

这种电阻器一般用陶瓷做骨架，电阻器的外层涂釉或其它耐热并且散热良好的绝缘材料。也可采用电阻合金带侧立绕于骨架上，以便于散热，它比一般涂釉线绕电阻器的比功率提高了 50%。

高频线绕电阻器

high-frequency wire-wound resistor

在高频下使用的线绕电阻器称高频线绕电阻器。为了减小分布电容和分布电感的影响，绕制电阻时经常采用间绕、分段绕、双线绕等无感绕法，并采用介电常数不高的陶

瓷材料作骨架。此外,为了提高线绕电阻器的精密度和高频特性,也可采用既无骨架也无涂层的裸合金线圈制成。由于薄膜电阻器的迅速发展和普遍应用,一部分高频线绕电阻器已被取代,但在特大功率高频电路中高频线绕电阻器仍有独特的用途。

非线绕电阻器

non-wire-wound resistor

用真空被碳、真空蒸发、溅射和化学沉积等工艺方法将电阻材料被覆在基体上制成薄膜电阻体,或将电阻材料合成物用压塑等工艺方法制成实芯电阻体,再经适当加工而成的电阻器,通称非线绕电阻器。例如碳膜、金属膜、碳质合成实芯电阻器等。

这种电阻器的特点是体积小,阻值范围宽,应用广,适于大量生产,价格低廉,可用于较高的频率等。

碳质合成实芯电阻器

carbon composition solid resistor

实芯电阻器又名体积电阻器。它是用碳质颗粒状导电物质(碳黑、石墨)、填料(云母粉、石英粉、玻璃粉、二氧化钛等)和粘合剂混合压制成实芯的电阻体,故名实芯电阻器。按所用粘合剂的类型,这种电阻器分为有机合成实芯电阻器和无机合成实芯电阻器两类。

这种电阻器过负荷能力强,可靠性高,体积小,结构与制造工艺简单,价格低廉。但是它的稳定性较差,电性能不如其它通用电阻器。

无机合成实芯电阻器

inorganic carbon solid composition resistor

这种电阻器是用无机粘合剂(玻璃釉等)、导电物质(碳黑、石墨)和填料,经混合、压制(冷压或挤压)成型烧结而成的。烧结要在中性媒质中进行。由于烧结收缩率大,使阻值范围受到限制,因此这种电阻器

生产极少。用半导体材料(如碳化硅等)制造实芯电阻器,可以提高电阻器的性能和阻值。

无机合成碳质实芯电阻器能耐高温,其电阻温度系数较大,若采用水冷,电阻器的耗散功率可达数十瓦。

这种电阻器主要用在无线电发射机中,用作防止寄生振荡的电阻器和镇流电阻器(等效天线电阻器);在强电工程中,用于电加热。

有机合成碳质实芯电阻器

organic carbon solid composition resistor

这种电阻器是将导电物质(碳黑、石墨等)和填料均匀混合,加入有机粘合剂(酚醛树脂等)连同引线热压而成。

它的优点是能耐受短时的过负载,可靠性高;缺点是耐潮性差和储存性能不稳定,噪声大。它的最大允许工作温度达 $+150^{\circ}\text{C}$ 。

膜式电阻器

film resistor

膜式电阻器是在绝缘基体上被覆一层薄膜电阻体(电阻膜)而制成的一类电阻器。为了免受外界影响,电阻膜外部常涂覆保护层,或者用陶瓷、金属外壳密封。

根据所用材料和电阻膜形成工艺的不同,这种电阻器分为碳膜电阻器、金属膜电阻器、化学沉积膜电阻器、块金属膜电阻器和碳合成膜电阻器等。

这类电阻器易于小型化,阻值范围宽,用途广,不仅可用作通用电阻器,还可制作各种特殊用途(如高频、高压等)的电阻器。

合成碳膜电阻器

carbon composition film resistor

合成碳膜电阻器是用有机粘合剂将碳黑、石墨和填充料配成悬浮液涂覆于绝缘基体上,经加热聚合而成。它的电性能和稳定性较差,一般不适于作通用电阻器。但由于

它容易制成高阻值的膜,所以主要用作高阻高压电阻器。其用途同高压电阻器。

碳膜电阻器

carbon film resistor

即“热分解碳膜电阻器”。

热分解碳膜电阻器

pyrolytical carbon film resistor

热分解碳膜电阻器通常称为碳膜电阻器,是用碳氢化合物在真空下高温热分解的碳沉积在绝缘基体上制成的。这种电阻器性能稳定,功率和阻值范围宽,价格低廉,是目前应用最广泛的一种电阻器。

硅碳膜电阻器

silicon carbon film resistor

硅碳膜电阻器就是在热分解碳膜中掺有硅的电阻器,其膜层结构稳定,耐热性、耐潮性比碳膜电阻器优良。

硅碳膜电阻器沉积工艺与碳膜电阻器基本相同,即在真空中高温分解硅有机化合物和碳氢化合物,在绝缘基体上形成硅碳膜。硅碳膜沉积后,还要在 $+200^{\circ}\text{C}$ 以上的温度进行热老化。

硅碳膜有混合膜和多层膜两种结构。混合膜是同时热分解硅有机化合物和碳氢化合物而成;多层膜是逐次热分解硅有机化合物和碳氢化合物而成。目前一般应用的是多层膜结构。

特种碳膜电阻器

special-purpose carbon film resistor

指用途特殊的碳膜电阻器,如超高频碳膜电阻器和水冷式碳膜电阻器。

超高频碳膜电阻器

ultra-high-frequency carbon film resistor

超高频碳膜电阻器,在超高频无线电设备中,既是电路中的一个普通元件,又是超高频器件(同轴线、衰减器、波导管等)的组成部分。为满足器件的要求,其结构形状

除棒状、管状外,还有垫圈式和片状的。为了减小分布电容、分布电感和介质损耗,通常不涂保护层,没有引出线,而且不刻槽。这种电阻器的阻值低,膜层较厚,电阻温度系数小,稳定性高。这种电阻器除用于超高频器件外,大部分使用于脉冲电路中。

水冷式碳膜电阻器

water-cooled carbon film resistor

水冷式碳膜电阻器是利用水冷却散热,以提高其使用功率的电阻器。这类电阻器通常在大功率发射设备中作为等效负载使用,功率在5千瓦以上,阻值不超过几百欧,使用频率低于100兆赫。冷却水的导入与引出管嘴分布在电阻器的两端或同一端,冷却水为自来水,管内水压必须大于4.5个大气压,冷却水出口处温度应在 $+15^{\circ}\text{C}$ 以下。

水冷式电阻器的允许的单位面积耗散功率,视水循环速度的大小可达 $30\sim 50\text{瓦}/\text{厘米}^2$,比自然冷却的电阻器大几十倍,甚至上百倍。因为实际使用的阻值很低,所以水的分路电阻影响很小。

金属膜电阻器

metal film resistor

金属膜电阻器就是以特种金属或合金作电阻材料,用真空蒸发或溅射的方法,在陶瓷或玻璃基体上形成电阻膜层的电阻器。这类电阻器一般采用真空蒸发工艺制得。它的耐热性、噪声电势、温度系数、电压系数等电性能比碳膜电阻器优良。金属膜电阻器的制造工艺比较灵活,不仅可以调整它的材料成分和膜层厚度,也可通过刻槽调整阻值,因而可以制成性能良好,阻值范围较宽的电阻器。

这种电阻器作为精密和高稳定性的电阻器而广泛应用,同时也通用于各种无线电子设备中。

精密金属膜电阻器

precision metal film resistor

这种电阻器所采用的材料为特殊合金。工艺上除了与金属膜电阻器相同以外,通常还要增加基体高温煅烧、直流老练、二次刻槽等工序。结构上常把电阻体密封在陶瓷或金属外壳内,有时外壳内要抽气或充以惰性气体。这种电阻器的特点是精度高,温度系数小,稳定性高,精度可达 $\pm 0.5 \sim \pm 0.01\%$,功率为 $0.125 \sim 0.5$ 瓦,其体积比相同功率的金属膜电阻要大。此种电阻器用于精密测量仪器中。

耐高温金属膜电阻器

high-temperature metal film resistor

这种电阻器能耐高温,能在 $+200^{\circ}\text{C}$ 以上(有的可达 $+250^{\circ}\text{C}$)的温度下正常工作。所用材料为特种合金,结构也较特殊,制造工艺与其它金属膜电阻器大体相同,电性能与一般的金属膜电阻器相似。

大功率金属膜电阻器

high-power metal film resistor

大功率金属膜电阻器系指耗散功率在2瓦以上的金属膜电阻器。其制造工艺与一般金属膜电阻器相同,但体积较大,多用于大型电气和无线电设备内。

金属氧化膜电阻器

metal oxide film resistor

这种电阻器是由能水解的金属盐类溶液(如四氯化锡和三氯化铋)在炽热的玻璃或陶瓷的表面分解沉积而成。随着制造条件的不同,电阻器的性能也有很大差异。

这种电阻器的主要特点是耐高温,工作温度范围为 $+140 \sim +235^{\circ}\text{C}$,在短时间内可超负荷使用;电阻温度系数为 $\pm 3 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$;化学稳定性好。这种电阻器的电阻率较低,小功率电阻器的阻值不超过100千欧,因此应用范围受到限制,但可用作补充金属膜电阻器的低阻部分。

化学沉积膜电阻器

chemically deposited film resistor

化学沉积膜电阻器是用单纯的化学反应在基体上沉积一层电阻膜而制成(如镍-磷合金膜电阻器)。它的工艺特点是将基体经过敏化、活化处理后,再进行化学沉积制成电阻膜,膜电阻为 0.01 欧/方 ~ 1 兆欧/方。这种电阻器的优点是生产效率高、设备简单,可以沉积任何形状的基体。但重复性差,薄膜易受潮气和电解腐蚀的影响,所以需要外加可靠的保护层。

这种电阻器主要用来弥补金属膜电阻器的低阻值部分。

氮化钽膜电阻器

tantalum nitride film resistor

氮化钽膜电阻器是在含氮的氩气中采用反应溅射法制得。溅射后将电阻器进行阳极化调阻和稳定化热处理。一般精度可达 $0.1 \sim 0.03\%$,温度系数最小可达 $\pm 25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,稳定性很好,是一种精密电阻器。

块金属膜电阻器

bulk metal film resistor

这种电阻器是将厚度为 $1 \sim 3$ 微米的平面形镍铬系合金材料作电阻元件,粘结在玻璃基片上而成,并采用光刻法使电阻膜形成迂回途径。为了防止温度和湿度的影响,再涂敷一层环氧树脂。

它的性能稳定,电流噪声小,体积小。由于它是平面结构,因而响应快并且高频性能有所改善。电阻温度系数很小,甚至可达 $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ (在 $0 \sim +60^{\circ}\text{C}$ 范围内),精度可达 0.001% ,是当前最精密的电阻器之一。

金属玻璃釉电阻器

metal glaze resistor

这种电阻器是以金属(如银、钼、铈、钨等)、金属氧化物(氧化钨、氧化铈等)及难熔化合物(碳化钨、氮化钽)等为导电相,用玻璃釉作粘合剂,并用有机粘合剂混合成浆料,用浸、涂、喷和丝网印刷等方法被覆于陶瓷或玻璃基体上,经烘干、高温烧结而

制成电阻膜。

此种电阻器可做成分立元件,又可广泛应用于厚膜电路中。其特点是耐高温,比功率大,阻值范围宽,温度系数较小,制造工艺简单。结构有棒状、片状等。可制造一般的电阻器,也可制造精密电阻器,精度可达 $\pm 1\%$,按特殊要求制造的可达 $\pm 0.1\%$ 。

片式电阻器

chip resistor

这种电阻器是采用厚、薄膜工艺制造的一种小片式电阻器,用以补充厚、薄膜电路中的特殊需要,作为外贴元件使用。其引出端是烧渗的银、金或蒸发的铬金等。功率范围为35毫瓦到2瓦,阻值范围为1欧到几十兆欧。主要用于混合集成电路中。

电阻网络

resistance network

应用厚、薄膜电阻工艺在一个绝缘基片上形成内电阻的网络。按网络特性可分为集总参数和分布参数两种。按电路作用又可分为 Π 形、T形和L形网络等。

高压电阻器

high-voltage resistor

高压电阻器是指在1000~35000伏高压下工作的电阻器,阻值高达 10^{11} 欧姆。高压电阻器要能承受非常高的电压,必须具有很高的电阻值和较大的耗散功率。为了防止电击穿,必须选择耐压强度高的细长基体,电阻膜做成螺旋带式,而且沿长度方向的电压梯度不得超过500伏/厘米。

这种电阻器是由合成碳膜、金属膜、金属玻璃釉膜做成。在高压装置中用作分压器和吸收器,也可供整流滤波电容器的放电和熄弧用。

真空兆欧电阻器

vacuum megohm resistor

这种电阻器是将有机粘合剂、碳黑、石墨和填料混合成悬浮液,涂敷在陶瓷或低碱

玻璃基体上,经干燥聚合、刻槽调阻,最后密封于真空(约 $10^{-1}\sim 5\times 10^{-2}$ 毫米汞柱)玻璃管内制成的,其引线由管两端伸出。它能在100%的相对湿度下稳定地工作。由于电阻器密封在真空中,所以稳定性好。若在玻璃管内充入约一个大气压的惰性气体(如氩、氦),电阻器的稳定性可进一步得到改善。一般阻值范围为 $10^7\sim 10^{14}$ 欧,精度为 $\pm(1\sim 20)\%$ 。主要用于测量微电流的设备中,如射线仪等。

高阻电阻器

high resistance resistor

高阻电阻器是高阻值的碳合成膜电阻器,阻值一般在 $10^7\sim 10^{12}$ 欧范围内,其结构与碳膜电阻器相同。电阻值高于 10^{12} 欧以上的电阻器,对基体和电阻膜上涂覆层的绝缘性能有更高的要求,可采用绝缘性能更好的超高频瓷或滑石瓷作基体。

标准电阻器

standard resistor

标准电阻器是专为精密仪器或校准电阻值而设计的。技术上与精密线绕电阻器的要求大体相同,并要求阻值稳定性极高,必须是无感和分布电容极小。但应指出,它们的阻值往往是以某一温度和湿度为前提而标出的。

滑线电阻器

rheostat

滑线电阻器是一种线绕可变电阻器,其上装有导轨,作为滑动引出端。导轨上的滑块通过触点在绕组的接触道上滑动,即可调节阻值。滑线电阻器用于实验室与电力设备中。

可调线绕电阻器

variable wire-wound resistor

可调线绕电阻器是一种可变电阻器,常见的有被釉和涂漆的两种。这种可调线绕电阻器外面装有可以移动的卡环作为接触引出

端。在釉(漆)层上留有狭长的“窗口”,露出绕组接触道,卡环通过触点在接触道上移动就可以调节阻值。使用时,在阻值调节好以后将卡环拧紧。

电阻率

resistivity

电阻率也叫电阻系数,或叫体积电阻率,是单位长度、单位截面积材料的电阻值。常用单位为:欧姆·厘米($\Omega \cdot \text{cm}$)或欧姆·毫米²/米($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);对于线材,国外用欧姆/圆密尔·呎为电阻率的单位。

材料的电阻率和温度有关。

标称阻值

nominal resistance

产品标志的“名义”阻值叫标称阻值,其单位为欧(Ω)、千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)。标称阻值按照规定的系列选定。

阻值允许误差

resistance tolerance

指电阻器或电位器的实际阻值对于标称阻值的允许最大偏差范围。它标示产品精度。例如通用电阻器规定有三级精度,其中Ⅰ级阻值允许误差是 $\pm 5\%$,Ⅱ级是 $\pm 10\%$,Ⅲ级是 $\pm 20\%$ 。

精度

accuracy

见“阻值允许误差”。

额定功率

power rating

在额定环境温度下,电阻器、电位器的容许功率叫作额定功率。它的大小决定于结构、尺寸和材料。当环境温度低于额定温度时,可满负荷使用;环境温度高于额定温度时,则应降负荷使用。

容许功率

allowable power

在规定的环境温度范围内,保证电阻器、电位器在不同的温度下连续正常工作所能负

荷的最大功率叫作容许功率。

临界阻值

critical resistance

同一型号、同一功率的电阻器和电位器,由额定功率和最高额定工作电压所决定的电阻值称为临界阻值。

最高工作电压

maximum working voltage

由电阻器、电位器最大电流密度、电阻体击穿和产品结构等因素所限定的工作电压为最高工作电压。

最大工作电流

maximum operating current

电阻器所允许通过的最大电流称为最大工作电流。它受电阻体材料的耐热性和电阻器的结构、形状等因素所限制,它是低阻值电阻器的一个重要指标。

电阻温度系数

resistance-temperature coefficient

电阻温度系数是温度每变化一度时,电阻器阻值的相对变化。实际应用中,在某一规定的环境温度范围内的电阻温度系数的计算式为

$$\alpha_t = \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)} (1/^\circ\text{C})$$

$$= \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)} \times 10^6 (\text{ppm})$$

式中 R_t ——环境温度为 t 时的阻值(欧);

R_0 ——某一参考温度 t_0 时的阻值(欧)。

电阻温度系数是阻值随温度发生可逆性变化的特性。它是体现电阻器稳定性的主要参数之一。阻值随温度升高而增大的,其温度系数为正;阻值随温度升高而减小的,其温度系数为负。

电压系数

voltage coefficient

电压系数是外加电压每改变1伏时,电阻器阻值的相对变化量。计算式为

$$K_v = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \times 100\%$$

式中 U_2 、 U_1 ——外加电压；

R_2 、 R_1 ——对应于 U_2 和 U_1 时的电阻值。

电压系数说明电阻值对外加电压的稳定程度，电压系数大，阻值对电压依赖性强，反之则弱。一般说来，线绕电阻器的电压系数最小，碳质合成实芯电阻器的最大。

老化系数

aging coefficient

老化系数是表示电阻器使用寿命长短的一个参数，是在额定功率（所加电压不超过最高工作电压）长期负载后，阻值相对变化的百分数。为了在较短时间内检验电阻器的寿命长短，常采用“加速老化”的方法（视电阻器类型而不同），过负载一般在 1.5~3 倍。

在一般情况下，线绕电阻器的老化系数较其它各型电阻器小。

高频特性

high-frequency characteristic

当电阻器加上交流电压时，随着频率升高，其等效电阻值发生变化，除线绕电阻器外，膜式和实芯电阻器的阻值随频率的升高而减小，但对低阻值电阻器来说，随频率的升高其阻值增大，电阻器的这种特性就叫频率特性。

产生这种现象的主要原因是电阻器本身分布电容和电感的影响。

电阻器噪声

resistor noise

由于电阻体内载流子浓度的变化，在电阻器两引出端产生不规则的电位起伏称为电阻器噪声。电阻器噪声有热噪声、电流噪声。热噪声和电流噪声又称固有噪声。噪声小是电阻器质量好的一个标志，一般在 5 微伏/伏以下。电阻器噪声是不可避免的，但在生产

过程中，可以采取一定的措施来减小它的影响。

电阻器的噪声通常用噪声电势表示，可由测量仪器测出，其单位为微伏/伏或分贝 (dB)。

电阻器噪声对有效信号是一种干扰，它限制了电子设备的启动阈灵敏度。

热噪声

thermal noise

热噪声是导体中电子无规则的热骚动引起的噪声。它与材料和形状无关，与温度和阻值有关。热噪声的特征是频谱连续、各种成分的强度相同，所以不能用缩小频带的方法将它完全滤出，而只能减小。

电流噪声

electrical noise

关于电流噪声的产生机理，目前尚未完全了解，通常的看法是：在粒状结构的导体里，当电流通过时，由于导体微粒不规则的振动，使微粒间接触面积发生变化，因而使电阻值产生起伏。电流噪声与温度无关，而在很大程度上取决于电阻器的结构。

基体

substrate

基体（基片）是非线绕电阻器或电位器的绝缘支撑体，用以支承电阻体以及安装引出线等。

基体所用材料有陶瓷、玻璃、石英片、塑料、层压板、表面覆以绝缘层的合金等。

骨架

frame

线绕电阻器或电位器绕阻的绝缘支撑体叫骨架。

真空被碳

vacuum carbon-coating

真空被碳是制造热分解碳膜电阻器的一项主要工艺。其方法是在真空度为 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 毫米汞柱和温度为 $+900 \sim +1100^\circ\text{C}$ 的条件

下,热分解碳氢化合物(如庚烷等),使碳均匀地沉积在绝缘基体上。

被碳设备有固定式、转动式和连续式等。

刻槽

resistance adjustment by engraving

刻槽是调整和扩大膜式电阻器阻值的一种工艺方法。刻槽方法有机械刻槽、电子束刻槽、激光刻槽等。目前碳膜、金属膜电阻器大都是用机械刻槽法,刻槽形式可以为螺旋槽、纵槽。对于高频电阻器可以采用无感刻槽等。

电位器

potentiometer

电位器是一种可调的电子元件,它靠一个电刷(动接点)在电阻体上移动,从而获得与电位器输入电压(外加电压)和电刷位移(或转角)成一定关系的电压输出。

在电路中,电位器多用作分压器,是一个四端元件,其接线原理如图1所示。电位器也可用作变阻器,是一个两端元件,如图2所示。

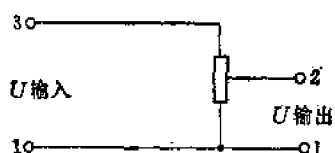


图1 分压器

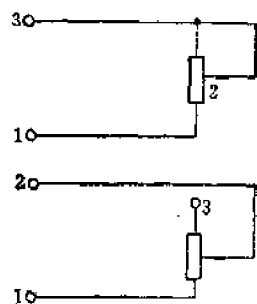
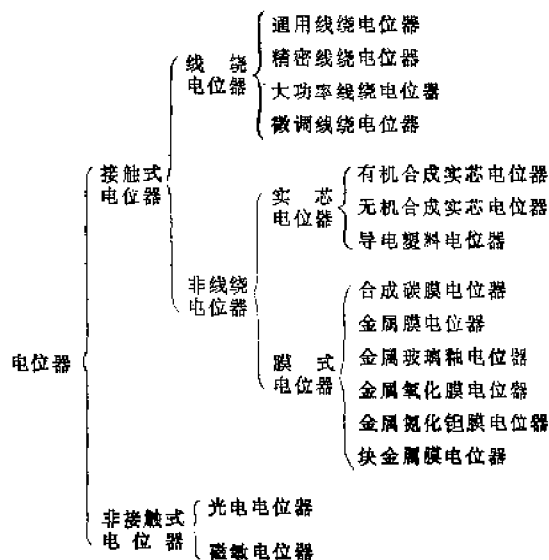


图2 变阻器

电位器的主要参数有:标称阻值、精度等级、额定功率、温度系数、动噪声、平滑

性、零位电阻、分辨力、起动力矩、绝缘电阻、潮热系数、老化系数、耐磨寿命、使用条件等。

电位器的分类见表。



线绕电位器

wire-wound potentiometer

这种电位器的电阻体是用电阻线绕在绝缘骨架上制成的。按其功率可分为小功率和大功率两种。

这种电位器的优点是:容易按照要求做出规定的阻值;接触电阻低;精度高;温度系数小。缺点是:分辨力差;易断线;可靠性差,特别是高阻,因为采用的电阻线很细;标称阻值低(一般只有100千欧左右);由于线匝间存在分布电感、电容,故不宜用于高频。

非线绕电位器

non-wire-wound potentiometer

在电位器中,除了线绕电位器外都称非线绕电位器。这一类电位器的种类很多,使用的材料广泛,工艺方法灵活多样,易于小型化,分辨力高,耐磨,用途广。按电阻体材料的类型,有金属膜、碳膜、碳质有机实芯和碳质无机实芯、导电塑料、玻璃釉等电位器。按用途又可分为普通、精密、微调及

各种专用电位器等。此外,按接触形式可分为接触式电位器,非接触式电位器(如光电、磁敏电位器等)。

合成碳膜电位器

carbon composition film potentiometer

合成碳膜电位器习惯上也称碳膜电位器。特点是:分辨力高,阻值范围宽,价廉,制造工艺简单。缺点是:难以作成低阻值(小于100欧)的电位器;因粘合剂是有机物,所以耐温耐湿性差,阻值稳定性差。

实芯电位器

solid potentiometer

实芯电位器是用电阻材料和有机或无机粘合剂加填料压制在绝缘基体上,经烧结或加热聚合而成。根据粘合剂的类型,分为有机实芯电位器和无机实芯电位器两种。

实芯电位器的特点是耐温,耐磨,分辨力高,体积小。

有机实芯电位器

organic solid composition potentiometer

这种电位器是用有机粘合剂将碳质导电物、填料均匀混合构成电阻体材料,连同引出端与绝缘的塑料粉压制在一起,经加热聚合而成。其结构有圆形、方形、长方形等。

此种电位器的特点是分辨力高,耐温,耐磨,体积小。

无机实芯电位器

inorganic solid composition potentiometer

这种电位器与无机实芯电阻器一样是用含无机粘合剂(如玻璃釉等)的碳质合成物和填料混合,冷压在基体上并经烧结而成。这种电位器体积小,具有优异的防潮性能,耐温性能也比一般电位器好。

金属膜电位器

metal film potentiometer

金属膜电位器的电阻体是用特种合金在绝缘基体上,用真空蒸发、溅射、化学沉积、

烧渗还原等方法形成。其特点是耐温高、分辨力高、温度系数小。缺点是:阻值范围窄、价格贵。其基本性能、材料、工艺与金属膜电阻器相似。金属膜电位器包括:合金膜、金属氧化膜、金属复合膜、氮化钽膜电位器等。

块金属膜电位器

bulk metal film potentiometer

这种电位器的电阻体是将厚度为1~3微米的平面形镍铬系合金材料粘附在陶瓷基体上制得的。它综合了线绕和非线绕电位器的最佳性能。温度系数可小于 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,最大也只有 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;阻值范围为2欧~5千欧;噪声小,最大等效噪声电阻不超过20欧,有的还小于10欧;稳定性高;分辨力无限;无感,适用于高频。

导电塑料电位器

conductive plastic potentiometer

这种电位器的电阻体是由碳黑、石墨和超细金属粉、邻苯二甲酸二丙烯脂树脂(简称DAP树脂)和交联剂(DAP单体)塑压而成。其电阻率比一般的电阻体约大3~4个数量级,而比半导体锗小2个数量级。这种电位器特别耐磨,寿命可达500万次,制作工艺简单,分辨力高,平滑性良好而且接触可靠,阻值范围为10欧~1兆欧,工作温度范围为 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 。

金属玻璃釉电位器

metal glaze potentiometer

金属玻璃釉电位器的制造工艺与金属玻璃釉电阻器相似,另外还要求电刷与电阻体表面的接触电阻小。

这种电位器分辨力高、阻值范围宽、可靠性高、高频特性好、耐温、耐湿又耐磨。可制成通用电位器,精密电位器,微调电位器,并能制成小型化电位器。其结构有圆形、方形、长方形等。

直线式电位器

linear potentiometer

直线式电位器又叫作线性电位器,即输出特性与接触点位移(或转角)成直线关系的电位器。

函数式电位器

functional potentiometer

输出特性与接触点位移(或转角)不成直线关系,而成一定函数关系的电位器叫函数式电位器。输出特性成指数规律的叫指数式电位器;输出特性成对数规律的叫对数式电位器;输出特性成三角函数规律的叫三角函数式电位器。

带开关电位器

potentiometer with switch

配备有开关的电位器叫做带开关电位器。根据开关的运动形式可分为旋转式开关电位器和推拉式开关电位器两种。

旋转式开关电位器开关的动作靠转轴的旋转来完成;推拉式开关电位器开关的动作靠推拉来完成。

多圈电位器

multiturn potentiometer

多圈电位器亦称螺旋电位器。其电阻体呈螺旋形,工作时接触点沿电阻体滑动的轨迹也呈螺旋形,可提高线性度和分辨力。一般用线绕电阻体,也可采用非线绕电阻体。

多圈电位器属于精密微调电位器的一种,主要用于电子计算机,伺服系统和自动控制等。

多联电位器

multi-gang potentiometer

多联电位器由若干个电位器组合而成,可获得若干个电压输出。由两个电位器组成的称双联,有三个的称三联,等等。

多联电位器可以是同轴或是异轴的,同步的或是异步的。

旋转式电位器

rotating potentiometer

从使用上来说,凡调节机构(轴、导杆)作旋转运动的电位器就叫作旋转式电位器。可分为有止挡的和无止挡的两种。

直滑式电位器

linear sliding potentiometer

在使用时,凡滑柄是作直线运动的电位器就叫直滑式电位器。它的特点是调节位置直观。

微调电位器

trimmer potentiometer

微调电位器是作微量调节用的电位器。它是通过慢速旋转机构,使机械转动量大而电参量变化小来实现微量调节的。

抽头式电位器

tap potentiometer

这种电位器的电阻体上带有抽头引出端,使用时根据需要灵活选用。它有多种用途,如作线性补偿、获得函数式输出等。

锁紧式电位器

potentiometer with lock nut

带有锁紧装置的电位器叫锁紧式电位器。使用时将输出参量调节好后就锁紧固定,防止松动,以免输出参量发生变化。

精密电位器

precision potentiometer

精密电位器是输出特性精度较高的电位器,它的阻值精度和输出特性的稳定性也较高。这类电位器有线绕的、合成碳膜的及金属玻璃釉的。通常这类电位器都要经过仔细调整(修刻)工艺才能达到。在结构上要求电刷材料具有很好的导电性能和弹性,与电阻体材料相匹配具有极小的接触电阻,一般采用贵金属系(铂、金)合金。为了减小转轴的转动转矩和保证转轴对电阻体的同心度,通常都装有微型轴承。

这类电位器主要在电子设备(计算装置、

自动系统)中作精密调整用。

高频电位器

high frequency potentiometer

在高频(超高频)电路中用作可变衰减器的电位器称高频(超高频)电位器。它的电阻体多为薄膜类型的,阻值较低。其结构大多数与通用电位器不同。特别是用在超高频电路中的电位器,为了减小分布参数和介质损耗的影响,以及减小外界信号的干扰,一般都采用同轴电缆或专用高频插头(插座)引出,并装有屏蔽罩(外壳)。

非接触式电位器

non-contact potentiometer

一般电位器都是通过电刷在电阻体轨道上滑动来改变电参数的。非接触式电位器没有与电阻体直接机械接触的电刷,而是用其它方式来获得电压输出的,所以克服了接触动噪声以及容易断线等缺点。光电电位器和磁敏电位器等即属于这类电位器。

精度

accuracy

电位器精度包括总电阻值误差和函数特性的符合性。然而,通常所谓电位器精度是指符合性。对输出特性为函数式的称为函数精度,对输出特性为直线式的称为线性精度。

符合性

conformance

符合性又称符合度。是指电位器的实际输出函数特性和理论函数特性之间的符合程度,用来表示电位器的函数精度。符合性是用电位器输出电压的实际值和理论值之间的最大偏差与外加总电压之比,以百分数来表示。即

$$C_f = \left| \frac{(u_{\text{实际}} - u_{\text{理论}})_{\text{max}}}{U} \right| \times 100\%$$

式中 u —— 电位器的输出电压;

U —— 外加总电压。

直线性

linearity

当电位器的理论输出函数特性为一直线时,这时的符合性叫直线性,又称直线度,简称线性。计算公式为

$$C_k = \left| \frac{(u_{\text{实际}} - u_{\text{理论}})_{\text{max}}}{U} \right| \times 100\%$$

式中 u —— 电位器电刷输出电压,

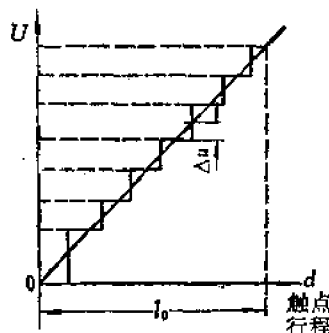
U —— 电位器的外加总电压。

在实际生产中,由于选取的理论参考直线不同,有绝对直线性、零基直线性、端基直线性、独立直线性。

阶梯特性

step-characteristic

直线式线绕电位器输出电压,实际上并不是连续平滑的一条直线,而是由绕组各匝的跳步特性引起的如图所示的阶梯状折线,称为电位器的阶梯特性。



线绕直线式电位器输出电压的实际变化图

如果电阻体的总线匝数为 N , 输入电压为 U , 则由阶梯特性而引起的输出电压绝对误差为

$$\Delta U \leq \pm \frac{U}{2N}$$

可见要减小阶梯特性所引起的误差,应将电阻体线匝数 N 尽可能增多。

跳变电压

leaping voltage

是电刷由电位器始(末)端运动到电阻体的实际电行程上时所出现的电压突变量。通常用相对于输入电压的百分数来表示。

对线绕电位器,在最好的情况下,跳变电压即为输出的第一或最末一个阶梯电压。

对应于跳变电压的还有一个跳变电阻。

分辨力

resolution

分辨力(或称分辨率)主要是对线绕电位器而言的,即接触点每移动一线匝时输出电压的相对变化。它标志着电位器输出量调整可能达到的精密程度。分辨力通常分为理论分辨力,电压分辨力和行程分辨力。

对直线式线绕电位器,其理论分辨力是在实际电行程上的绕组总匝数 N 的倒数,并以百分数表示:

$$\text{理论分辨力} = \frac{1}{N} \times 100\%$$

其数值愈小,分辨力愈高。

对于函数式线绕电位器,其理论分辨力,在实际行程上,是一个变数。对非线性绕电位器,没有阶梯特性,其分辨力很高。

平滑性

smoothness characteristic

平滑性也称连续性,是用来描述电位器电刷以规定的速度在电阻体两端间旋转或滑动时,电位器输出端电阻值变化的不规则突跳。

用这种阻值突跳的最大值相对于电位器标称阻值的百分数来度量平滑性。即:

$$\text{平滑性} = \frac{\Delta R_{\max}}{R_H} \times 100\%$$

式中 ΔR_{\max} ——突跳阻值的最大值;

R_H ——电位器的标称阻值。

平滑性直接影响电位器动噪声的大小。

动噪声

motive noise

在外加电压作用下,电位器动接点在滑动时产生的电噪声称为电位器的动噪声。它是由接触点和电阻体之间接触电阻的变化以及电阻体的电阻率不均匀性所引起的不规则

交流电势。一般电位器的动噪声都比静噪声大,电位器的动噪声大致在1~5毫伏/伏,而电位器电阻体的静噪声大致在0~5微伏/伏。

电位器的动噪声,与转动速度、电刷接触压力、动接触点的数目以及外加电压和电流的大小有关。

等效噪声电阻

equivalent noise resistance

假定噪声电压都是由接触电阻变化而产生的,那么产生同一噪声电压的接触电阻变化量就是等效噪声电阻。用等效噪声电阻来衡量电位器噪声的大小是比较方便的。

零位电阻

zeropoint resistance

零位电阻是电位器电刷处于始(末)端时,活动端与始(末)端之间的电阻。

接触电阻

contact resistance

触点与电阻体接触处的电阻称接触电阻。接触电阻的大小取决于接触压力、触点材料的性质和接触表面的状况等因素。接触电阻对电位器的稳定性有很大关系,电位器各点的接触电阻是不同的,它是决定电位器平滑性、动噪声的主要参数之一。

绝缘电阻

insulation resistance

电位器的绝缘电阻,指电阻体与轴套(外壳)之间的电阻。它与结构、材料、表面状态有关。一般在几百兆欧以上。

起动力矩

starting torque

对于旋转式电位器,指转轴在旋转角范围内,起动时所需要的力矩。

对于直滑式电位器,其相应的名词为起动力,它是滑柄在位移范围内起动时所需要的力。

止挡力矩

stop torque

对于旋转式电位器,指机械止挡所能承受的最大转动力矩。对于直滑式电位器,相应的名词为止挡力,是机械止挡所能承受的最大滑动力。

转动力矩

rotating torque

对于旋转式电位器,是在总旋转角范围内,以某一速度旋转时所需要的力矩。

对于直滑式电位器,相应的名词为滑动力。它是滑柄在位移范围内以某一速度定向滑动时所需要的力。

起动力矩比

ratio of starting torques

对于旋转式电位器,是最大起动力矩与最小起动力矩之比。用以衡量电位器在总旋转角范围内各点的起动力矩是否均匀。

对于直滑式电位器,相应的名词为起动力

力之比。它是最大起动力与最小起动力之比。用以衡量电位器在位移范围内各点的起动力是否均匀。

耐磨寿命

friction durability

在规定的试验条件下,在电位器性能降到某一程度之前,电刷运动的总次数(有止挡电位器,往返为一次;无止挡电位器,电刷由始端到末端为一次)。

触点材料

slider material

在电位器中与电阻体滑动接触的材料称触点材料。常用的触点材料有磷青铜、铍青铜、碳素合成物以及其它贵金属合金(金、铂、铱)等。电位器的精度和寿命,都与触点材料有关。对触点材料的主要要求是:耐磨,导电性好,自润滑性好,化学稳定性好。

二、敏感电阻器

敏感电阻器

sensitive resistor

敏感电阻器主要是指电特性（例如电阻率）对于温度、光通、电压、机械力、磁通、湿度、气体浓度等物理量表现敏感的元件，如热敏、光敏、压敏、力敏、磁敏、湿敏和气敏电阻器。利用这类元件可以构成能检测相应物理量的探测器，如红外探测器、辐射热探测器等；还可制成无触点开关和非接触式电位器，如光电电位器和磁敏电位器等。由于它们几乎都是用半导体材料做成的，因此这类电阻器也称做“半导体电阻器”。

1. 热敏电阻器

热敏电阻器

thermistor

是电阻值对温度极为敏感的一种电阻器，也叫半导体热敏电阻器。它可由单晶、多晶以及玻璃、塑料等半导体材料制成。这种电阻器具有一系列特殊的电性能，最基本的特性是其阻值随温度的变化有极为显著的变化，以及伏安曲线呈非线性。

热敏电阻器种类繁多，一般按阻值温度系数可分为负电阻温度系数（以下简称负温系数）和正电阻温度系数（以下简称正温系数）热敏电阻器；按其阻值随温度变化的大小可分为缓变和突变型；按其受热方式可分为直热式和旁热式；按其工作温度范围可分为常温、高温和超低温热敏电阻器；按其结构分类有棒状、圆片、方片、垫圈状、珠状、线管状、薄膜以及厚膜等热敏电阻器。

热敏电阻器的主要特点是对温度灵敏度高，热惰性小，寿命长，体积小，结构简单，

以及可制成各种不同的外形结构。因此，随着工农业生产以及科学技术的发展，这种元件已获得了广泛的应用，如温度测量、温度控制、温度补偿、液面测定、气压测定、火灾报警、气象探空、开关电路、过荷保护、脉动电压抑制、时间延迟、稳定振幅、自动增益调整、微波和激光功率测量等等。

随着近代军事技术、特别是空间技术的发展，对热敏电阻器除了要求高可靠、长寿命、超高温和超低温外，还需要灵敏度更高、不需致冷、性能优良的测辐射功率的热敏器件。

正温系数热敏电阻器

posistor, positive temperature coefficient thermistor

在工作温度范围内，电阻值随温度的升高而急剧增大的电阻器称为正温系数热敏电阻器。其阻温特性一般符合指数规律：

$$R_T = R_0 e^{AT}$$

式中 R_T ——对应于温度 T (°K) 的电阻值；

R_0 ——条件电阻；

A ——温度系数；

T ——绝对温度。

制造正温系数热敏电阻器的工艺，通常是在钛酸钡半导体陶瓷中添加微量稀土元素（如镧、铈、钐、铽等）或另一些杂质元素（铋、锑、铌等），经配料、成型、烧结、上电极和包封老化等工艺制成。也可采用硅、锗和碳化硅半导体材料制得。

单纯的 BaTiO_3 陶瓷具有 P 型电导，在常温下具有极高的电阻率（ $\rho = 10^{11}$ 欧·厘米左右）。在 BaTiO_3 中进行施主掺杂（例如镧、铌等）使 BaTiO_3 半导体化，当温度达到居里点时，半导体 BaTiO_3 相位由四方晶

形向立方晶形转变。此时电阻率跃增几个数量级。正温系数热敏电阻器就是利用这个现象做成的。

正温系数热敏电阻器已广泛用于温度测量、温度控制和补偿电路、限流和稳压装置、延时继电器、彩色电视自动消磁以及电气设备的过热保护等方面。

负温系数热敏电阻器

negative temperature coefficient thermistor

在工作温度范围内,电阻值随温度升高而急剧减小的电阻器称为负温系数热敏电阻器。其阻温特性一般符合指数规律:

$$R_T = R_0 e^{\frac{B}{T}}$$

式中 R_T ——对应于温度 T (°K) 的阻值;

R_0 ——条件电阻;

B ——材料常数;

T ——绝对温度。

这种热敏电阻器一般是用负电阻温度系数很大的多晶金属(如铁、钴、镍、铜、锰、钛、钒等)氧化物半导体制成。根据用途选取适当的氧化物成分和配比,做成各种不同结构形式,经高温烧结、引出电极、调整阻值、施以表面保护后即成。也可采用硅、锗、玻璃等半导体材料制得。

负温系数热敏电阻器的作用原理是:当温度升高时,载流子受热激发,使半导体内载流子浓度大大增加,从而使阻值急剧下降。根据这种特性,该热敏电阻器是目前使用最普遍的一种热敏电阻器,可用作高灵敏度温度测量、温度控制和热补偿等。

直热式热敏电阻器

directly heat thermistor

加热电流直接通过电阻体使其自热,或接受环境温度影响而改变阻值的热敏电阻器称为直热式热敏电阻器。它与旁热式热敏电阻器不同之处在于无加热器。

旁热式热敏电阻器

indirectly heat thermistor

这种电阻器又称间热式热敏电阻器,其基本结构是由电阻体和加热器组成。通常的制法是把珠状热敏电阻体置于特制的加热线圈内,在珠体和加热线圈之间涂覆绝缘材料,组装后封装于真空玻璃管中而成(见图)。这种热敏电阻器的加热电流不直接通过电阻体,而是通过加热线圈,电阻体的阻值随加热功率的大小而发生变化。



旁热式热敏电阻器结构示意图

旁热式热敏电阻器主要用于放大器的增益自动控制,自动调节电平,也可用作无触点电位器等。

棒状热敏电阻器

rod thermistor

这种热敏电阻器是将粉状热敏半导体材料加入有机粘合剂,经混合挤制成型,高温烧结后,涂烧电极,安装引出线,再涂覆保护层而制成。根据用途亦可密封于金属、陶瓷或塑料外壳内。棒体直径一般为0.5~6毫米,长度为1.5~50毫米。

主要用途是温度测量和温度控制,也可以用来遥测空气的湿度,测量风速,以及远距离通信线路的温度补偿等。

垫圈状热敏电阻器

washer thermistor

垫圈状热敏电阻器是用粉状金属氧化物半导体材料,加入有机粘合剂,模压成型,

然后经高温烧结,在垫圈上下两面涂烧电极,侧面涂漆作保护层。垫圈外径一般为5~50毫米,厚度为0.8~6毫米,使用时,根据要求可将若干个垫圈串联或并联在一起。如在恶劣条件下应用,则将垫圈密封于金属外壳中,若配上散热片或直接固定在机壳上,可扩大使用功率。主要用途是在电气测量仪器中作温度补偿用。

圆片热敏电阻器

disk thermistor

圆片形热敏电阻器是将配制好的热敏电阻材料经轧膜或压制成型,高温烧结后,涂烧电极,焊接引线,涂覆保护层而制成。圆片直径一般为1~30毫米,厚度为0.2~10毫米。这种电阻器大量用作温度补偿和普通的测温元件。

方片热敏电阻器

square thermistor

外形结构呈长方或正方形的热敏电阻器称为方片热敏电阻器,其尺寸一般为1~30毫米,厚度为0.2~2毫米。它的制造和应用,见“圆片热敏电阻器”。

薄片状热敏电阻器

flake thermistor

这种热敏电阻器是用金属氧化物半导体粉料加入有机粘合剂,混合成乳状物,在光滑的玻璃面上涂成膜,膜干后剥离,并切成所需的尺寸和形状,放于光滑的陶瓷板上烧结,然后涂敷电极,焊上引出线制成。厚度为0.01~0.04毫米,长度为1~10毫米,宽度为0.2~1毫米。

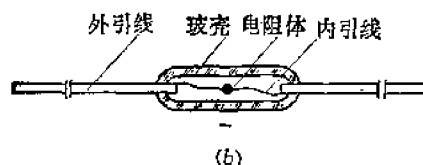
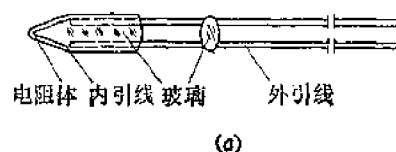
这种热敏电阻器由于具有响应速度快的特点,所以主要用于红外探测和流体速度的测量等。

珠状热敏电阻器

bead thermistor

珠状热敏电阻器的电阻体是一个直径约为0.1~1毫米的小珠,它与电极(直径为

0.02~0.08毫米的铂丝)烧结在一起,然后涂以保护层或封装于玻璃管内制成。它的典型结构如图a、b所示。电阻材料通常采用铜、锰、钴、镍、铁、钛、钒等金属氧化物的混合物。这种热敏电阻器由于体积小,时间常数小,所以常用作微波功率测量和精密温度测量,也可以作液体的流速和流量的测定以及稳幅用。



珠状热敏电阻器典型结构示意图

微针形热敏电阻器

fine needle thermistor

这种热敏电阻器的形状像一根缝衣针,是珠状热敏电阻器的一种,其特点是响应速度快,主要用来测量很小的温度差,如人体皮肤的温度、树叶表面的温度等。

线管状热敏电阻器

wire-tube form thermistor

是一种具有特殊结构的热敏电阻器,外形像电缆。这种电阻器制造工艺较复杂,一般是先将金属氧化物半导体材料磨成粉状,加入有机粘合剂,用专用的挤杆模(芯电极引线同粉料一起进入模具中)挤压成型,经高温烧结后的珠状阻体(料沿着芯引线轴向收缩,自然断裂成一个个的近似珠状阻体)套入适当的金属管(外电极)中,其两端封装上电缆接头而成。它的直径通常为2毫米左右,长度约1~7米。

由于它具有机械性能好,耐温高和可缠绕在固体表面上等优点,可作为飞机发动机和化工重油裂化炉及其它高温炉火报警警器中的探测元件。

厚膜热敏电阻器

thick film thermistor

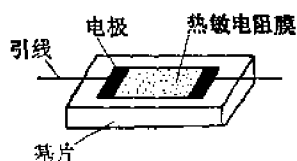
厚膜热敏电阻器,是用铁、钴、镍、锰等过渡金属氧化物与玻璃料一起均匀混合于有机溶剂中,制成浆料,按照一定的图案印刷在绝缘基片上,然后在 $+760\sim+930^{\circ}\text{C}$ 的温度下烧结,加上电极即成。

它是一种高灵敏的小型热敏元件。主要供厚膜集成电路配套用,亦可单独作辐射热探测器或温度补偿用。

薄膜热敏电阻器

thin film thermistor

薄膜热敏电阻器是用射频溅射等薄膜工艺,在基片(陶瓷、玻璃等)上淀积热敏电阻膜而成。主要材料是负温度系数大的二、三种过渡金属氧化物的混合物。这种热敏电阻器的特点是响应速度快,可达150微秒~40毫秒,而一般珠式热敏电阻器则为0.5~5秒。圆片状热敏电阻器约为5~120秒。因此它特别适用于红外探测,同时亦可作为与薄膜混合集成电路配套用。



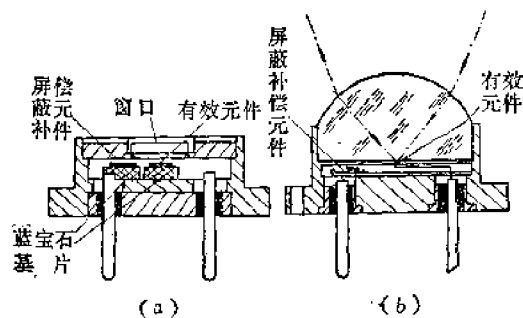
薄膜热敏电阻器示意图

热敏电阻辐射热探测器

thermistor bolometer

是利用热敏材料接收辐射能引起温升而使电阻值变化的原理做成的器件。热敏元件通常采用薄膜状阻体,因此有时也称薄膜热敏电阻器。电阻体材料有氧化物半导体,如锗、硅等半导体。电阻体附着在玻璃、陶瓷、

蓝宝石等基片上。多数辐射热探测器,都是在一个密封的金属外壳内装置两个热敏电阻体,一个叫工作体,另一个是作环境温度补偿用的阻体。外壳顶端是电磁辐射能穿透的窗口,有的采用透镜浸没结构,借透镜的聚焦作用可提高探测度(见图a、b)。



热敏电阻辐射热探测器结构

a—典型的金属外壳密封片形辐射热探测器;b—半球状透镜浸没(埋入)结构的片状辐射热探测器。

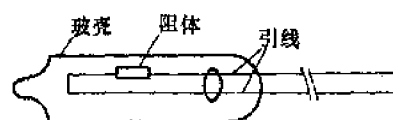
辐射热探测器的用途很广,能用于检测从无线电波到红外光各种波长的电磁辐射能,也可以用作激光功率测量。辐射热探测器更多的是用作红外光接收器、红外辐射温度计、红外分光计、红外图象仪、红外显微镜、红外分析仪等。在空间技术,特别是在军事方面有重大的使用价值。

稳压热敏电阻器

voltage stabilizer thermistor

这是一种直热式负温度系数热敏电阻器,它是因其伏-安特性曲线在一定工作电流范围内,能保持其工作电压稳定不变或与工作电流相比变化极小而得名(见图a)。

这种热敏电阻器是由细丝状或珠状电阻体封装于真空玻管中制成。其结构如图b所示。



图a 稳压热敏电阻器的伏-安特性曲线

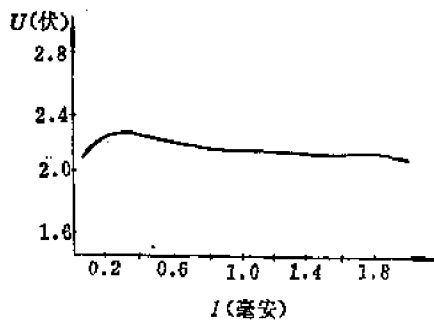


图5 稳压热敏电阻器结构示意图

示。通常在电子电路中作低压稳压或稳幅用，其外形与稳压电子管相似，但比电子稳压管经济耐用。最可贵的是它能稳定几伏的低电压，所以较电子稳压管更适用于晶体管电路。

高温热敏电阻器

high temperature thermistor

使用温度在 $+300^{\circ}\text{C}$ 以上的热敏电阻器，称为高温热敏电阻器。

用单晶碳化硅做成的热敏电阻器的使用温度可达 $+450^{\circ}\text{C}$ 。用二硼化钛(TiB_2)加少量氯化钛制成的热敏电阻器的使用温度可达 $+600^{\circ}\text{C}$ 。用纯硼晶体制造的热敏电阻器的使用温度可达 $+700^{\circ}\text{C}$ ，若配上镍-硼合金电极，则使用温度可达 $+1000^{\circ}\text{C}$ 左右。用铝、镍、锰氧化物制成的热敏电阻器的使用温度达 $+750\sim+1200^{\circ}\text{C}$ 。用氧化锆(ZrO_2)和氧化钇(Y_2O_3)的化合物作电阻材料，用铱-钨合金丝做电极，用氧化铍作保护，制成的热敏电阻器的工作温度为 $+700\sim+2200^{\circ}\text{C}$ 。

这种热敏电阻器主要用于高温测量，与热电偶相比，它的使用温度高，热电偶最高使用温度只达 $+1350^{\circ}\text{C}$ 。此外，热敏电阻温度计除温度外，不受其它因素的影响，而热电偶的阻抗式温度计则不具备这种优点。

超低温热敏电阻器

ultra-low temperature thermistor

制造超低温热敏电阻器所用的材料，除氧化物半导体外，还有金属、碳以及锗单晶

等。但都必须选用 B 值(材料常数)较小的材料，例如： B 值为 1000°K 左右的材料适合制作液氮温度(-195.6°C)热敏电阻器； B 值为 200°K 的材料适合制作液氢温度(-252°C)热敏电阻器；用于液氮温度测量的热敏电阻器， B 值则应要求更小，在 $50\sim 70^{\circ}\text{K}$ 之间。

超低温热敏电阻器主要用于导弹致冷器的温度控制，以及火箭液体燃料的流量控制、温度测量等。它具有灵敏度高、体积小、热接触性好和容易校准等优点。根据不同用途，阻体可以做成片状、珠状、薄膜等结构形式。

钛酸钡热敏电阻器

barium titanate thermistor

见“正温系数热敏电阻器”。

玻璃热敏电阻器

glass thermistor; semiconductor glass thermistor

玻璃热敏电阻器是一种负温系数热敏电阻器，用玻璃半导体制成。玻璃半导体是以五氧化二钒(V_2O_5)为主要原料，掺入盐基氧化物如氧化钴(Co_2O_3)、氧化钙(CaO)、氧化钡(BaO)和氧化锶(SrO)等以及酸性氧化物如五氧化二磷(P_2O_5)、二氧化钛(TiO_2)、氧化硼(B_2O_3)等的一种或一种以上混合，经加热熔化而成。制造玻璃热敏电阻器时，将加热熔化后的玻璃料磨细，成型，然后在还原气氛中进行热处理，以降低电阻率。

玻璃半导体的优点是材料均匀度高，无明显的晶粒间界，与铂丝电极有良好的湿润性，容易做成各种形状等。缺点是电阻率高，易溶于水等。

玻璃热敏电阻器可用于温度测量、微波功率测量等。

临界温度热敏电阻器

critesistor; critical temperature thermistor

临界温度热敏电阻器是在某一温度下,阻值发生急剧变化(下降)的一种半导体元件。它和正温度系数热敏电阻器的性能完全相反。

这种热敏电阻器通常是采用玻璃半导体材料加工成型,经还原性气氛热处理,然后急剧冷却制成的。其阻值-温度特性曲线有一个阻值突变点,约为 $+68^{\circ}\text{C}$,而且阻值突变数量级可依材料成分进行调整。显然这是一种具有开关特性的热敏元件。它特别适于在 $+65\sim+75^{\circ}\text{C}$ 之间使用,例如用来控制高稳定石英振荡器的恒温槽温度等。

单晶硅热敏电阻器

unicrystalline silicon thermistor

单晶硅热敏电阻器是利用晶体管工艺在单晶半导体材料硅中掺入不同类型和不同浓度的杂质制成的。掺杂后可使电阻率在 $0.01\text{欧}\cdot\text{厘米}\sim 100\text{千欧}\cdot\text{厘米}$ 之间改变。在某一温度范围内,利用载流子的迁移率随温度升高而减少的原理制成正温系数热敏电阻器,其阻值为 $56\text{欧}\sim 1\text{千欧}$,阻值温度系数为 $+0.7\sim +1\%/^{\circ}\text{C}$ 。当温度升高到一定程度后,利用载流子浓度随温度升高而增加的原理,制成负温系数热敏电阻器,其阻值为 $56\text{欧}\sim 100\text{千欧}$,电阻温度系数为 $-1\sim -7\%/^{\circ}\text{C}$ 。

由于单晶硅的纯度高,晶格排列整齐,掺杂浓度可以精确控制,所以单晶硅热敏电阻器的性能相当稳定,并且有耗散常数大、时间常数小、体积小等优点,因而在温度补偿、温度测量、温度控制等方面很有实用价值。

单晶锗热敏电阻器

unicrystalline germanium thermistor

这种热敏电阻器是采用单晶半导体材料锗,掺入不同种类和不同浓度的杂质制成的,掺杂后其电阻率为 $0.01\sim 50\text{欧姆}\cdot\text{厘米}$, B 值(材料常数)在 $1000\sim 6000^{\circ}\text{K}$ 之间可任意

改变。它也是利用载流子浓度随温度升高而增加的原理制成。其特点是稳定性高,重复性好。所以在温度补偿、温度测量、温度控制、微波功率测量、红外热探测等方面都能使用。这种热敏电阻器的阻值目前可达 $100\text{欧}\sim 22\text{千欧}$,阻值温度系数为 $-2\sim -7\%/^{\circ}\text{C}$,工作温度范围为 $+10\sim +200^{\circ}\text{C}$ 。

塑料热敏电阻器

plastic thermistor

塑料热敏电阻器是近几年发展起来的新产品,它是用有机半导体材料做成的。这种电阻器有两种导电类型,离子导电型和电子导电型。前者是在聚氯乙烯中添加导电粒子制得的,后者是通过电荷移动络合体的高分子化制得的。离子导电型材料加直流电压会引起极化现象,只适用交流电路。这两种材料与普通热敏电阻材料相比, B 值(材料常数)约大两倍,电阻率高 $10^3\sim 10^4$ 倍。

塑料热敏电阻器与普通塑料有相同的工艺性,所以容易大量生产。利用它的柔软性和可弯曲性,能够测量曲面或移动物体的温度。这种热敏电阻器已被用于电热地板、火焰报警器等作为温度检测器。

实际电阻值

actual resistance

热敏电阻器的实际电阻值以 R_T 表示,它是在一定的环境温度下,采用引起电阻值变化不超过 0.1% 的测量功率所测得的电阻值。阻值大小取决于热敏电阻器的材料和几何形状。

实际电阻值又称零功率电阻值,或称不发热功率电阻值或冷电阻值。

工作点电阻

working resistance

是在正常气候条件下,施加一定的功率使热敏电阻器自热而达到任一给定的电阻值。工作点电阻都在热敏电阻器伏安特性曲线的自热段,根据需要施以不同功率就能得

到不同的工作点电阻 (见图)。在 bc 段, 工作点电阻 R_c 为

$$R_c = \lg \beta_2 = \frac{U_c}{I_c}$$

习惯上工作点电阻也可用微分电阻来代替, 即对 R_c 微分

$$R'_c = \lg' \beta_2 = \frac{dU_c}{dI_c}$$

R'_c 为 c 点的微分电阻。

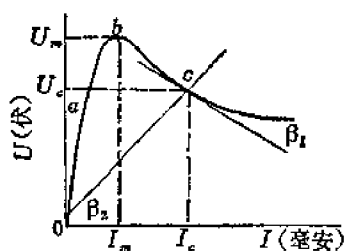


图 6-21 热敏电阻器伏安特性曲线

测量功率

measured power

指热敏电阻器在规定的环境温度下, 电阻体受测量电源加热而引起的电阻值变化不超过 0.1% 时, 所消耗的功率。即

$$P_c \leq \frac{H}{1000 \times \alpha_t}$$

式中 H ——耗散常数;

α_t ——电阻温度系数。

它的用途在于统一测试标准和作为设计测试仪表的依据。

耗散功率

dissipation power

指热敏电阻器的阻值达到特定数值时, 在热敏电阻体中或加热器上直接耗散的功率。

额定功率

rated power

是指热敏电阻器在规定的技术条件下, 长期连续负荷所允许的耗散功率。在此功率下, 电阻体自身的温度不应超过最高工作温度。通常所给出的额定功率值是指 +25°C 时的额定功率, 若热敏电阻器的环境温度高于

+25°C, 则必须相应地降低负荷。

材料常数

material constant

材料常数是描述负温度系数的热敏电阻材料物理特性的一个常数, 本征半导体材料常数的表示式为

$$B = \frac{\Delta E}{2k}$$

式中 k ——波尔兹曼常数;

ΔE ——激活能。

B 值的大小取决于材料的激活能。在工作温度范围内, B 值并不是一个严格的常数, 随温度的升高而略有增大。不同 B 值的材料有不同的用途, 例如普通热敏电阻器的材料常数 B 为 1000~6200°K; 测量液氢温度 (-252°C) 的热敏电阻器则需采用 B 值为 200~250°K 的半导体材料; 制造 +1000°C 高温热敏电阻器, 则 B 值应为 12500°K 左右。一般说来 B 值大者电阻率也高。

负温度系数热敏电阻器 B 值计算式为

$$B = 2.303 \frac{\lg R_2 - \lg R_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}$$

式中 R_1 、 R_2 分别为温度 T_1 (°K)、 T_2 (°K) 时的阻值。

电阻温度系数

resistance-temperature coefficient of thermistor

热敏电阻器的电阻温度系数指电阻体的温度每变化一度电阻值的变化率, 即

$$\alpha_t = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt}$$

式中 α_t 和 R 为对应于温度 t (°K) 的电阻温度系数和电阻值。在工作温度范围内, α_t 随温度增加而变小。

由于电阻-温度特性的非线性关系, 通常在给出电阻温度系数的同时, 必须指出测量时的温度, 如 α_{25} 表示在 +25°C 时的电阻温度系数。 α_t 有正负之分, 其正者为正温度系数热敏电阻器, 负者为负温度系数热敏电

阻器。热敏电阻器的温度系数通常比金属的大几倍到几十倍。

耗散常数

dissipation constant

热敏电阻器的耗散常数指热敏电阻器温度每增加一度所耗散的功率。表达公式为

$$H = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

式中 ΔP ——耗散功率变量;

Δt ——温度变量。

H 的大小与热敏电阻器的结构和所处的媒质种类、运动速度、压力、导热性等都有关系。因此,热敏电阻器可用作液体和气体的流速计、真空计、压力计和热导率计以及气体分析仪。在工作温度范围内,当环境温度改变时, H 值略有变化。

时间常数

time constant of thermistor

亦称热时间常数或热惰性,通常以符号 τ 表示。其定义为:热敏电阻器在无功率状态下,当环境温度由一个特定温度向另一个特定温度突然改变时,电阻体的温度变化了这两个特定温度之差的63.2%所需的时间。测量时间常数时,通常将两个特定温度选为85°C和25°C或者100°C和0°C,并应在恒定的静态条件下进行。

时间常数 τ 的表示式为

$$\tau = \frac{C}{H}$$

式中 C ——热容量;

H ——耗散常数。

电压系数

voltage coefficient

钛酸钡正温系数热敏电阻器的阻值与外加电压有一定的依赖关系,即电压升高,阻值下降。电压升高一伏所引起的电阻值变化称为电压系数。其公式是

$$K_v = 2.303 \frac{\lg R_2 - \lg R_1}{U_2 - U_1}$$

式中 K_v ——电压系数;

U_2, U_1 ——热敏电阻器的外加电压;

R_2, R_1 ——对应于 U_2 和 U_1 时的电阻值。

负温系数电阻器的电压系数很小,一般忽略不计。

热耦合系数

thermal coupling constant

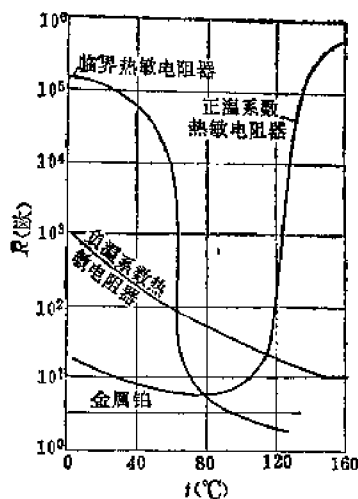
该系数通常用符号 K 表示。它是指旁热式热敏电阻器加热器上的功率有多少被有效利用的一个参数。其含义为使用直热法使旁热式热敏电阻器的电阻体达到相同的热电阻值时,其电阻体(直热)功率 P_1 与加热器(旁热)功率 P_2 之比,即

$$K = \frac{P_1}{P_2}$$

电阻-温度特性

resistance-temperature characteristic of thermistor

即热敏电阻器的电阻值与温度之间的依赖关系。它是热敏电阻器的主要特征之一。如图所示,在工作温度范围内,负温度系数热敏电阻器的阻值随温度升高而急剧下降,正温系数热敏电阻器的阻值随温度升高而急剧增大。

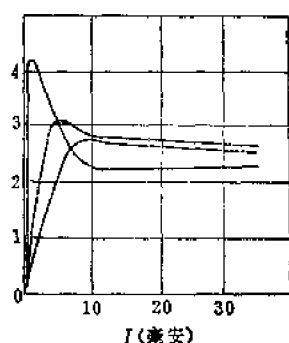


几种热敏电阻器的电阻-温度特性曲线

伏安特性

V-I characteristic of thermistor

在热平衡状态下, 热敏电阻器端电压与通过阻体的电流之间的关系, 即在静止的空气中电流每变化一次, 要有足够的时间使电压达到某一新的稳定值。所以这种曲线亦称静态伏安曲线。图为负温系数热敏电阻器的典型伏安特性曲线。



典型热敏电阻器的静态伏安特性曲线

热敏电阻器的伏安特性曲线不仅与其结构形状有关, 而且与其阻值, 材料常数 B , 以及所处的媒质种类、状态、环境温度等都有关系。所以在测绘具体产品的伏安特性时, 必须标明是什么媒质和什么温度条件下进行的。

电阻-功率特性

resistance-power characteristic

指热敏电阻器的阻值与阻体所耗散的功率之间的关系。对于负温系数热敏电阻器, 这一关系可表示为

$$R_p = R_{\infty} \exp \left[\frac{B}{\frac{P}{H} + T_0} \right]$$

式中 R_p ——热敏电阻器的阻值;

R_{∞} ——热敏电阻温度趋于无限大时的阻值;

B ——材料常数;

H ——耗散常数;

T_0 ——环境温度 ($^{\circ}\text{K}$);

P ——热敏电阻器的耗散功率(毫瓦)。

在分米、厘米和毫米波无线电技术中, 广泛利用这一特性来测量 10 微瓦至 50 毫瓦的微波功率。

在热敏电阻器设计中, 往往使热敏电阻器在高温下工作(例如自热到 $+150^{\circ}\text{C}$ 左右)。因此, 对这类热敏电阻器的电负荷稳定性要求很高。

旁热特性

indirectly-heat characteristic

指旁热式热敏电阻器的阻值与加热器中的电流(或功率)之间的关系。对于负温系数热敏电阻器, 这一关系可表示为

$$R_p = R_{\infty} \exp \left[\frac{B}{\frac{KP}{H} + T_0} \right]$$

式中 R_p ——热敏电阻器与 P 相对应的阻值;

P ——加热器的耗散功率;

K ——热耦合系数;

H ——耗散常数;

T_0 ——环境温度。

该特性在载波机中, 广泛用于自动调节电平。

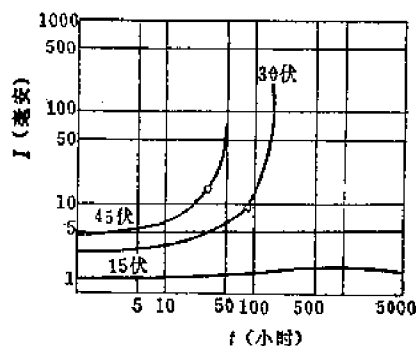
设计时, 为减少环境温度的影响, 除选用热导最小的结构材料外, 通常使热敏电阻器处于高温和高真空状态。因此, 对这类热敏电阻器的高温稳定性要求特别高。

延时特性

time delay characteristic

指在含有热敏电阻器的电路中, 当外接电源突然接通时, 电路中电流与时间的关系, 所以又称电流-时间特性。此特性关系遵循牛顿热交换定律。

对于既定的热敏电阻器, 其延迟时间与外加电压的大小和耗散条件等有关, 图为延迟时间与外加电压的关系。改变热敏电阻器的结构和外加不同的电压, 可以使延迟时间在 0.1 秒~10 分钟之间变化。



一种棒状热敏电阻器延迟特性($\phi 3 \times 12$ 毫米;

$$B = 3000^\circ\text{K}; T = 273^\circ\text{K})$$

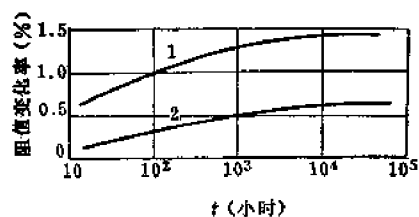
该特性用于抑制浪涌电流、消除电话机故障以及逻辑电路等。

热老化特性

thermal ageing properties

热敏电阻器在规定的温度下长期贮存,其阻值的变化率和时间关系,即为热敏电阻器的热老化特性。

老化实际上是一个长期稳定的过程。长期稳定性主要取决于材料、配方和热处理规范,图为两种圆片状热敏电阻器的老化特性(环境温度为 105°C)。由图可见,200小时前阻值变化较明显,一个月(800小时左右)后,阻值虽然继续增大,但增加很小,此后再继续老化,阻值基本上趋于稳定,因而热敏电阻器的人工老化处理,在实际使用中是必要的。



热敏电阻器的热老化特性

最大加热电流

maximum heat current

指旁热式热敏电阻器在 $+25^\circ\text{C}$ 时,使阻体的阻值稳定在最低工作点电阻时的旁热电流。

标称电压

nominal voltage

指稳压热敏电阻器在 $+25^\circ\text{C}$ 时,标称工作电流所对应的电压值。

目前最常用的稳压热敏电阻器的标称电压为2伏,其它还有3伏、4伏、5伏、6伏等。

最大允许电压波动

maximum permitted voltage pulsation

指稳压热敏电阻器在 $+25^\circ\text{C}$ 时,在工作电流范围内,所允许的最大端电压与最小端电压之差。

工作电流范围

operating current range

指稳压热敏电阻器在 $+25^\circ\text{C}$ 时,其端电压和最大电压波动不超过允许值时的电流范围。简言之,即稳压热敏电阻器能稳压的电流范围。

最高工作温度

maximum operating temperature

指热敏电阻器在规定的技术条件下,长期连续工作所允许的最高温度。公式为

$$t_{\max} = t + \frac{P_t}{H}$$

式中 t ——环境温度($^\circ\text{C}$);

P_t ——在环境温度为 t 时的耗散功率;

H ——耗散常数。

当工作温度低于或等于这个数值时,热敏电阻器的所有特性均应符合技术要求。最高工作温度 t_{\max} 亦可认为是环境温度(t)和热敏电阻器阻体温升(Δt)的总和,即 $t_{\max} = t + \Delta t$ 。

转变点温度

knee point temperature

一般指临界热敏电阻器和钛酸钡热敏电阻器的阻值-温度特性曲线的拐点温度 T 。(也叫居里点)。转变点决定着热敏电阻器的

工作温度范围。两个拐点之间也就是热敏电阻器的工作区。

开关温度

switch temperature

对临界热敏电阻器和钛酸钡热敏电阻器,在某一温度下其电阻值发生突变,即减小或增大几个数量级,这时的温度称为开关温度。

功率灵敏度

power sensitivity

功率灵敏度是热敏电阻器在工作点附近,耗散功率变化1毫瓦所引起的电阻值变化,即

$$S_G = \frac{\Delta R}{\Delta P}$$

式中 P ——耗散功率(毫瓦);

R ——电阻值。

在工作温度范围内,热敏电阻器的功率灵敏度随着环境温度的变化略有改变,功率灵敏度主要与环境介质状态有关,如随着空气流速的变化而发生改变,利用这个原理可作成热敏电阻风力计和流速计。

能量灵敏度

energy sensitivity

在数值上等于为使热敏电阻器的阻值减少1%所需耗散在热敏电阻器上的功率值。能量灵敏度的大小取决于热敏电阻器的温度系数与环境介质之间的热交换特性,计算公式为

$$G = \frac{\Delta P}{100 \times \frac{\Delta R}{R}}$$

或

$$G = \frac{H}{100 \times \alpha_t}$$

式中 H ——耗散常数;

α_t ——电阻温度系数;

ΔP ——外加电源功率。

通常所指 G 的大小,是热敏电阻器在

+25℃时的静止空气中的值,因为它与环境介质的运动速度、压力和导热性有关,所以热敏电阻器可用来测量液体的流速、压力、导热率以及气体分析等。

峰值电压

peak voltage

在伏安特性曲线上,当微分电阻 $\frac{dV}{dI} \approx 0$ 时,相对应的电压值就叫峰值电压(见“伏安特性曲线”)。

热容量

thermal capacity

热敏电阻器温升一度所需要的热量,即为热容量,用字母 C 表示。严格来说, C 是温度的函数,且与半导体材料的质量和比热有关,在工作温度范围内可视为一个常数,其数学公式为

$$C = \tau H$$

式中 τ ——时间常数;

H ——耗散常数。

热敏电阻器用于测温、控温等时,一般要求时间常数小,因而热容量愈小愈好,所以在设计中选择材料的比热等参数时,必须加以考虑。

噪声电势

noise potential

热敏电阻器的噪声电势,主要在热辐射探测和微波小功率测量方面有较严格的要求。其定义见固定电阻器的“噪声电势”。

热噪声

thermal noise

热敏电阻器的热噪声,主要在热辐射探测和微波小功率测量等方面有较严格的要求。其定义见固定电阻器的“热噪声”。

继电器效应

relay effect

在具有负温度系数热敏电阻器的有源电路中,当热敏电阻器所处的环境条件变化后,引起电路中电流突增,从而驱使动作元件发

生动作的现象,称为继电效应。

热敏电阻器的继电效应,具有负阻或放大作用,这一作用被广泛应用于液面指示、过热保护和火警报警等方面。

互换性

interchangeability

指同一型号,同一规格的任一批随机的热敏电阻器,在整机上相互更换后,能够保证整机主要技术指标的能力。

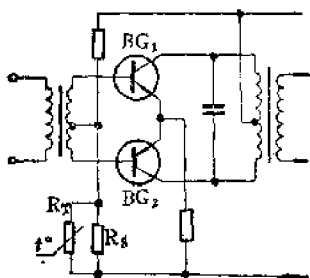
互换性的好坏,通常取决于热敏电阻器的标称阻值、电阻-温度特性、电压电流特性、频率特性、时间常数、耗散常数和元件的几何尺寸等基本参数的精度或一致性。

为保证热敏电阻器基本参数的一致性,除必须选择电阻率和材料常数一致性良好的配方外,还应在工艺上严格控制。

热敏电阻温度补偿

temperature compensation by
thermistor

在电子线路中,例如晶体管的偏流、石英晶体的振荡频率、电视机偏转线圈及很多用金属线绕元件的地方,由于环境温度的波动,致使线路工作很不正常,为了补偿因温度波动而带来的影响,可以采用热敏电阻器获得满意的结果。温度补偿用的热敏电阻器品种很多,主要有正温系数热敏电阻器和负温系数热敏电阻器两大类。它的工作原理,可由图示晶体管收音机工作点温度补偿予以说明。当环境温度升高或降低时,两推挽管



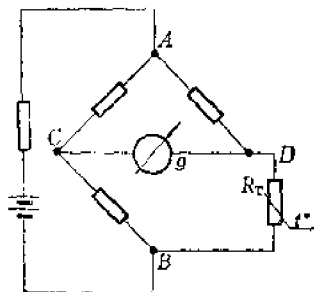
晶体管收音机末级温度补偿

集电极总电流 I_c 增大或减小,温差越大, I_c 波动越大,收音机工作失常。负温系数热敏电阻 R_T 和电阻 R_3 并联后串入基极回路,当环境温度升高或降低时,热敏电阻阻值也分别降低或升高,造成偏压减小或增大,使发射极正向电压减小或增大,同样使基极电流减小或增大,结果使 I_c 不致波动很大,保证了满意的收听效果。

热敏电阻温度计

thermistor thermometer

热敏电阻温度计是利用不平衡电桥原理工作的。如图所示,在热敏电阻器 R_T 为 0°C



简易热敏电阻温度计原理图

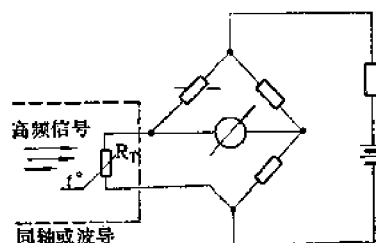
时,桥路处于平衡状态, CD 两端电压降为零,微安表 g 无电流通过,指示为零。当被测温度偏离 0°C 时,由于 R_T 的阻值是随温度变化的,此时电桥失去平衡, CD 两端产生一定的电压降,微安表 g 通过电流使指针偏转。因此,当微安表 g 的指针偏转到某一位置时,便是所测出的温度值。

这种温度计的特点是精度高,能遥控遥测,若配上不同规格的热敏电阻器,可以进行多点固定测量和快速测量。

热敏电阻功率计

thermistor power meter

热敏电阻功率计原理如图所示。图中,热敏电阻器接在电桥的一个臂上,电桥的对角线上连接一个灵敏电流计。热敏电阻器在高功率辐射下阻值发生变化,辐射功率越



热敏电阻功率计原理图

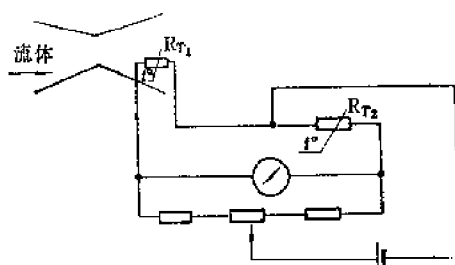
大, 阻值越低, 电流表的偏转就越大。

采用珠式热敏电阻器作为敏感元件, 同铂金丝和铋锑薄膜相比的优点是: 灵敏度高, 耐负荷能力强, 可以调节最佳工作点, 使用方便等。

热敏电阻流量计

thermistor flow meter

流量计是用来测量各种液体和气体流量的仪器。热敏电阻流量计是利用热耗散常数与静态伏安特性的关系做成, 其原理如图所示。



热敏电阻流量计原理

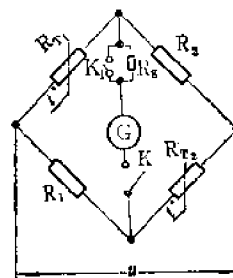
图中, 热敏电阻 R_{T2} 是用来补偿环境温度变化的, R_{T1} 是置于流体管路中的热敏电阻器。当管路无流体流过时, 电桥处于平衡状态, 电流计指示为零。当管路有流体流过, 则改变了 R_{T1} 周围的介质状态。这时由于耗散常数变化, 电桥失去了平衡, 电流计发生偏转的大小就是流体的流量。

热敏电阻真空计

thermistor vacuum gauge

这种真空计的线路比较简单, 由两个线性电阻 R_1 和 R_2 以及两个热敏电阻器 R_{T1} 和 R_{T2} 等组成。线路原理如图所示。热敏电

阻器 R_{T1} 和 R_{T2} 放在需要测定压力的容器中。在正常压力或任何已知压力下, 电桥处于平衡状态, 当容器中压力改变时, 冷却条件就变化, 因而电桥失去平衡。根据检流计的电流值大小可以判断容器内真空度。



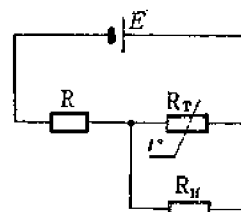
热敏电阻真空计线路

热敏电阻稳压器

thermistor voltage stabilizer

热敏电阻稳压器系利用稳压热敏电阻器稳压特性做成。

稳压原理如图所示。当回路中的电压或负载电阻 R_H 由于某种原因产生自身的阻值改变时, 通过热敏电阻器的电流也改变, 于是引起热敏电阻 R_T 发热或冷却而相应地改变其阻值。这就导致热敏电阻 R_T 和附加电阻 R 之间的电压重新分布, 由于稳压热敏电阻器伏安特性的特点, 在一定工作电流范围内, 热敏电阻器上的电压降稳定不变。这就在某段电压范围内起到了稳压作用。



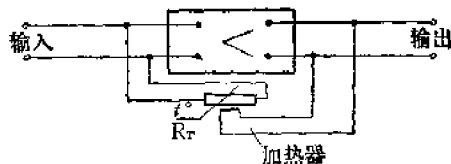
热敏电阻稳压器原理图

放大器自动增益控制

amplifier automatic gain control

旁热式热敏电阻器, 由于具有阻值受加热器功率的控制和阻值连续变化的特点, 而

被用作自动增益调整回路的关键元件。如图所示, 热敏电阻器的阻体接入放大器的反馈回路中, 放大器输出的一部分加在加热器上, 以控制阻体的阻值, 使放大器的输出电平得到控制, 当放大器输出增益增大时, 控制线路的输出也增大, 从而使放大器的输出保持一定程度的恒定。



自动增益控制电路原理图

热敏电阻开关

thermistor switch

临界热敏电阻器和温度系数特大的钛酸钡热敏电阻器, 在它们的阻-温特性曲线上都有一个阻值突变点 T_m (如图 a 所示)。利用这个特性可以起到温度开关的作用。

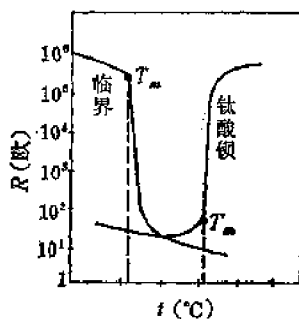


图 a 电阻-温度特性曲线

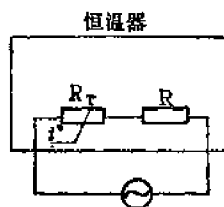


图 b 热敏电阻开关

图 b 为一种用钛酸钡热敏电阻器作控温开关的简图。 R_T 为开关型热敏电阻器, R 为加热电阻丝。恒温器靠 R 加热, 当超过某一温度时, R_T 阻值剧增几个数量级, 且远大

于 R , 这相当于电源被切断。这时, 恒温器温度下降, 热敏电阻器阻值恢复到较小的数值, 加热丝继续加热。

马达过热保护

motor protection against overheat

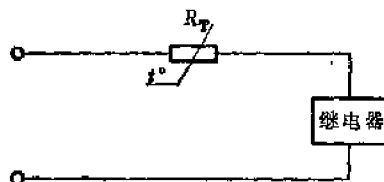
马达在缺相、过载等情况下工作时, 马达的线包常常由于急热而烧坏。为了防止马达过热损坏, 可利用热敏电阻开关特性进行保护。

把与继电器线包串联的热敏电阻器嵌入马达线包内。正常情况下, 热敏电阻器阻值较小, 继电器工作, 马达电源是接通的。当马达线包出现急热时, 热敏电阻器阻值迅速急增几个数量级, 相当于继电器线包断路, 于是马达电源被切断。

热敏电阻延迟继电器

thermistor time delay relay

利用热敏电阻器的延迟特性, 可以制成延迟继电器。如图所示, 当电路刚接通时, 由



热敏电阻延迟继电器简图

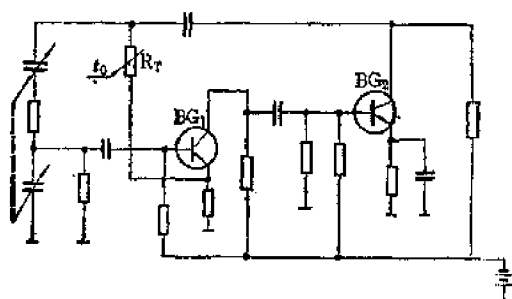
于热敏电阻 R_T 的阻体温升有一个过程, 其阻值变化也随之有一个过程, 流过热敏电阻器电流的增加就有一个延迟时间。改变热敏电阻器的结构、耗散条件或电路电压, 就能获得不同的延迟时间。

振荡器振幅自动控制

oscillator amplitude automatic control

在图示的 RC 振荡器中, 为了使振荡器的输出大小保持一定, 使用热敏电阻器和两个晶体管构成负反馈电路。当 BG_2 的集电极电压上升, 也就是说振荡器输出电压上升时, 流经热敏电阻器的电流就增加, 热敏电阻器自身加热, 阻值下降, 因而 BG_1 的发射极

电压上升,这样就在 BG_1 基极上加了一个逆向偏压,从而使输出电压稳定。



振荡器振幅自动控制简图

2. 光敏电阻器

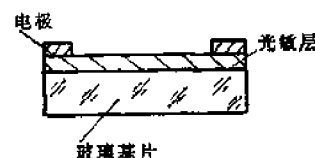
光敏电阻器

photoresistor

光敏电阻器是利用半导体的光电效应制成的一种元件。它是一种电阻值随着入射光

的强弱而改变的半导体电阻器。一般说来,入射光增强,电导增大,电阻减少。

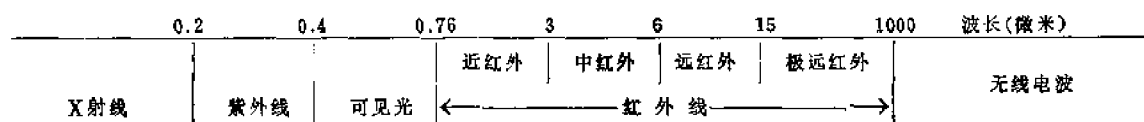
通常,光敏电阻体都制成薄片结构,以便吸收更多的光能。当它受到光线的照射时,半导体内部就激发出电子-空穴对,参与导电,使电路中的电流增大。一般光敏电阻器的结构如图所示。



光敏电阻器结构简图

根据光敏电阻器的光敏层所用的材料可以分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器。

所谓光,通常是指频谱从无线电波到X射线的电磁波。这个波段范围还可以进一步划分为几个区,其大致划分如下。



根据光敏电阻的光谱特性,可分为三种光敏电阻器。

(1) 紫外光敏电阻器:它因对紫外光较为灵敏而得名。其中包括硫化镉、硒化镉光敏电阻器等。可用于探测紫外线。

(2) 可见光敏电阻器:其中包括硒、硫化镉、硒化镉、碲化镉和碲化铋、碲化铋、硅、锗、硫化锌光敏电阻器等。它主要用于各种光电自动控制系统,如光电自动开关门、航标灯、路灯和其他照明系统的自动点灭,自动给水和自动停水装置,机械上的自动保护装置和“位置检测器”,极薄零件的厚度检测器,照相机自动曝光装置,电视机亮度自动调整电路,电子计算机的输入设备,

光电计数器,光电斩波器,烟雾报警器,光电跟踪系统等方面。

(3) 红外光敏电阻:主要有硫化铅、碲化铅、硒化铅、铋化铋、碲化汞、碲化锡、碲化汞、碲化金等光敏电阻器。它广泛地用于导弹制导、卫星姿态监视、天文探测、非接触测量、气体分析、无损探伤、人体病变探测、红外光谱、红外通信等国防、科学研究和工农业生产中。

此外,硫化镉光敏电阻器还对X射线、γ射线、α和β射线都很敏感。可用来做α射线和γ射线的剂量计,以及α和β射线的晶体计数管,来探测和量度各种射线的强度。

各种光敏电阻器的典型特性

光敏电阻	灵敏度	时间常数	光谱响应范围	备 注
硫化镉(CdS)	(单晶)0.1安/流明 (多晶)50安/流明	毫秒~秒	常温下0.5~0.8微米	还对X, γ, α, β射线敏感
硒化镉(CdSe)	50安/流明	500微秒~秒	常温下0.5~0.8微米	
硒(Se)	1毫安/流明	100微秒	峰值~0.7微米	
硫化铅(PbS)	在 $\sim 10^{-12}$ 瓦时 $S = N$ ①	100微秒	常温下1~3微米	
硒化铅(PbSe)	在 $\sim 10^{-11}$ 瓦时 $S = N$	100微秒	常温下1~5微米 90°K时~7微米	
碲化铅(PbTe)	在 $\sim 10^{-12}$ 瓦时 $S = N$	10微秒	常温下~4微米 90°K时~5微米	
碲化铋(BiSb)	在 $\sim 10^{-11}$ 瓦时 $S = N$	0.4微秒	常温、77°K时 5~7微米	
锗掺汞(Ge:Hg)		30微秒~1毫秒	27°K时~14微米	
锗掺金(Ge:Au)	在 $\sim 10^{-13}$ 瓦时 $S = N$	10微秒	77°K时~16微米	
碲镉汞(HgCdTe)		<1微秒	77°K时8~14微米	
碲锡铅(PbSbTe)		15毫微秒	77°K时11~20微米	
锗(Ge)	在 $\sim 10^{-13}$ 瓦时 $S = N$	10微秒		

① $S = N$ 即电阻器外接负载中产生的信号等于内部噪声。

紫外光敏电阻器

ultra-violet photoresistor

见“光敏电阻器”。

可见光敏电阻器

visible light photoresistor

见“光敏电阻器”。

红外光敏电阻器

infra-red photoresistor

见“光敏电阻器”。

硒光敏电阻器

selenium photoresistor

硒光敏电阻器是最早应用的一种光敏电阻器。它的制造方法是在玻璃片上被覆一层梳状金属(或在玻璃片上先腐蚀出梳状槽,之后在槽中填以金属或石墨导电材料)作电极,然后在其表面覆上一层厚为25微米的

硒层,经热处理后装配而成。

硒光敏电阻器对波长为0.7微米的光,具有最大的灵敏度。而灵敏度随辐射通量的调制频率增加而显著下降,例如,频率为3000赫时灵敏度只有频率为40赫时的10%,故不能用于高频。

硅光敏电阻器

silicon photoresistor

硅光敏电阻器是由硬质光滑的化学纯硅片制成。纯硅片是在四氯化硅、氢和氮的气体中加热还原,淀积于石英或陶瓷基体上,经掺杂处理,而后引出电极并进行装配即成。

它的最大灵敏度在0.9微米处,其最大红光限达40微米以上。

硫化镉光敏电阻器

cadmium sulfide photoresistor

硫化镉光敏电阻器是一种在可见光区用途广泛的元件。它对X射线、 γ 射线、 α 和 β 射线也敏感。它可以用烧结法、粉末压制法和真空蒸发法制成多晶膜式元件，也可以用升华法、气相法和熔炼法制成单晶元件。单晶元件的优点是响应速度比多晶元件快；缺点是受单晶大小限制，受光面积小，容量小。多晶元件受光面大，光谱灵敏范围比单晶宽，但电流的时间常数比单晶大得多。

这种光敏电阻器广泛用于自动控制电路中，如照明自动点灭装置、自动给水停水装置、电视接收机的亮度调节电路、照相机的自动曝光装置、安全报警器、斩波器和汽车前灯的自动调节器等。

硒化镉光敏电阻器

cadmium selenide photoresistor

制造和用途与硫化镉光敏电阻器大致相同，而在可见光区灵敏度更高些。响应速度比硫化镉快，光电导率也大。但是，电阻随光照变化的线性度和温度系数不如硫化镉。有时为了扩展光谱响应的范围或调整其它参数，可以在硫化镉中加入硒化镉，这就是硫硒化镉光敏电阻器。

碲化镉光敏电阻器

cadmium (sulfide, selenide) photoresistor

见“硒化镉光敏电阻器”。

碲化镉光敏电阻器

cadmium telluride photoresistor

碲化镉在高温半导体器件方面是一种重要材料，可以做成工作温度在 $+200\sim+500^{\circ}\text{C}$ 之间光导型或光伏型元件。这种材料的禁带宽度在室温时为1.44电子伏（相应于0.85微米的波长）； $+400^{\circ}\text{C}$ 时为1.25电子伏（相应于1微米的波长）。因此可以在工作温度高达 $+400^{\circ}\text{C}$ 的航空发动机中作火焰探测器。

硫化铅光敏电阻器

lead sulfide photoresistor

由硫化铅光敏电阻器构成的红外探测器是目前应用最广的一种。它的最主要点是可在常温下应用，且灵敏度高，时间常数小。常温下对3微米以内的红外光敏感，与大多数军事目标的辐射能相匹配，所以一直受到人们重视。这种光敏电阻器是用真空升华法或化学沉积法制取硫化铅膜，再进行热处理而成。另外还可以采用硫化铅外延单晶膜。单晶膜比多晶膜具有噪声小，响应速度快，大面积均匀等优点，但工艺比较困难。硫化铅光敏电阻器广泛用于红外探测器、非接触测量等方面。

碲化铅光敏电阻器

lead telluride photoresistor

碲化铅光敏电阻器是把碲铅混合物升华于被覆有白金电极的玻璃上或升华于装有碳精电极的陶瓷基体上，在气压为 $10\sim100$ 毫米汞柱的空气中热处理后装配而成。这种光敏电阻器在 -185°C 时最大灵敏度在4.5微米处。随着温度的升高，最大灵敏度向波长较短方向移动。应用时需加冷却附件。

硒化铅光敏电阻器

lead selenide photoresistor

硒化铅光敏电阻器是近、中红外的一种重要探测元件。制造方法与硫化铅相近。常温下可在 $1\sim5$ 微米波长范围内使用。冷却到 90°K 时，工作波长可达7微米。其响应速度比硫化铅快一个数量级，但探测度要低 $1\sim2$ 个数量级，在军事上有一定价值。

铟化铋光敏电阻器

indium antimonide photoresistor

铟化铋是一种III-V族化合物半导体。由高纯度的铋和铟加热合成，经区域提纯、拉制单晶和掺杂后制成薄片状光敏电阻器。它能在常温、 77°K 下工作，响应波长为 $4\sim7$ 微米。因单晶的性能容易控制，因而便于设

计制造高性能的探测元件。它的响应速度比硫化铅快,探测度与硫化铅相当。

这种光敏电阻器在气体分析、红外摄影、红外雷达和红外测温等方面有广泛的应用。

碲镉汞光敏电阻器

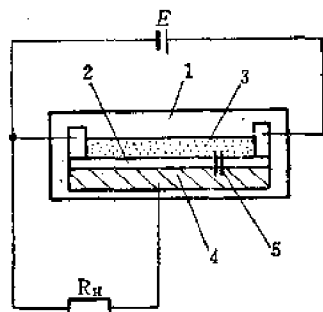
mercury-cadmium-tellurium photore-sistor

这种光敏电阻器是用碲、镉、汞三元合金半导体材料制成的。它是一种重要的红外探测元件。制备关键是生长高纯度的均匀单晶。通过改变汞、镉的组份,可以得到波长0.8~30微米或更长范围的各种探测元件。常温下使用波长为3~5微米;77°K使用波长为8~14微米。由这种元件构成的红外探测器,在大气和大地测绘、天文探测、光通信等方面有广泛的应用。

光电电位器

photo-potentiometer

利用光敏电阻器的工艺在电阻体与电极(金属)之间加一层光敏层(硫化镉、硒化镉等),改变光点在光敏层上的位置(相当于一般电位器中电刷的移动),就可以改变电位器的输出参数。其原理如图所示,这种电位器没有机械接触所引起的噪声,且分辨力高、可靠性高、寿命长。可用于闪光跟踪器、精密调整无线电望远镜的敏感元件、地震仪的敏感元件和冲击波检测系统等。



光电电位器原理示意图

1—基体; 2—光敏层; 3—电阻体; 4—电极;
5—窄光束。

光电效应

photoelectric effect

物质受到光照会发生某些电学特性的变化,这一现象称为光电效应。它可以分为光电导效应、光生伏特效应和光电子发射效应等三种。前两种发生在物体内部,统称为内光电效应,后一种发生在物体表面,称为外光电效应。

(1) 光电导效应——当物质受到光的照射时,载流子的浓度增加,电导率增大的现象,称为光电导效应。光敏电阻就是利用这种效应制成的。

(2) 光生伏特效应——当物质受到光的照射时,两种材料的界面上产生电动势的效应,称为光生伏特效应。光电池就是利用这种效应制成的。

(3) 光电子发射效应——当物质受到光照时,电子得到了足够的光能会从物质表面上放射出来的现象,称为光电子发射。普通光电管和光电倍增管就是利用这种原理制成的。

内光电效应多发生于半导体内,外光电效应多发生于金属。

光电导效应

photoconductive effect

见“光电效应”。

本征光电导

intrinsic photoconductivity

光是一束微粒子流,也叫做光子。当光子和半导体中的电子相遇时,光子就把自己的能量交给电子。电子在得到了光子的能量以后,就可能从满带跃迁到导带。在本征材料的情况下,当入射光子的能量大于禁带宽度时,电子从满带跃迁到导带,引起自由的电子-空穴对,从而增大了电导率(减少了电阻),这就是本征光电导。光照越强,光子数目越多,光生电子浓度和光生空穴浓度也越大,光电导就越大。

本征光电导的大小, 不仅与光照的强弱有关, 还与光的波长有密切关系。

杂质光电导

impurity photoconductivity

在掺杂型半导体材料中, 杂质原子的能级离导带或满带边缘较近。因此, 即使入射的光子能量较小 (也就是光的波长较长), 还是能够激发杂质原子, 产生光生电子或光生空穴, 从而使电导增大, 这就是杂质光电导。杂质光电导的极限波长可向长波方面移动, 同时可获得较高的灵敏度。

光谱特性

spectral characteristic

光谱特性表示光敏电阻器对各种单色光能的敏感程度。相应于具有一定敏感程度的波长区间, 就称为光谱响应范围, 亦称光谱敏感范围。相对于光谱响应最敏感的波长数值称为光谱响应峰值。刚好发生光电导的波长叫做极限波长, 亦称长波限。极限波长是由半导体材料的禁带宽度来决定的。在实际工作中, 有时把光谱响应峰值的十分之一的波长称为长波限。

光敏电阻器的光谱特性往往用光谱灵敏度来描述。它表示光敏电阻器在一定波长的单色光作用下的灵敏度 (电流灵敏度或电阻灵敏度)。

光敏电阻器的光谱灵敏度主要取决于所用的材料、杂质和制造工艺以及光敏电阻器的工作温度。如硫化镉光敏电阻器对可见光谱范围的波长敏感; 硫化铅光敏电阻器对 1~3 微米波长范围的红外线敏感; 碲化镉光敏电阻器在常温和 77°K 下对 4~7 微米的红外线敏感。

光谱响应范围

spectral response range

见“光谱特性”。

光谱响应峰值

peak in the spectral response

见“光谱特性”。

长波限

long-wavelength limit

见“光谱特性”。

光谱灵敏度

spectral sensitivity

见“光谱特性”。

灵敏度

sensitivity

表示光敏电阻器灵敏度的方法有多种, 常用的有阻值变化倍数、电阻灵敏度、电流灵敏度和比灵敏度等。

以上灵敏度的表示方法常用于可见光谱范围。而对微量辐射的测量, 主要在红外技术中通常用灵敏阈的概念。灵敏阈定义为: 当光敏电阻器外接负载中产生的信号 S 与其内部噪声 N 之比 $S/N=1$ 时, 所需要的最小辐射能 (瓦)。光敏电阻器的内部噪声是由它们的电气性能所决定的。噪声电平越低, 灵敏阈越小, 说明灵敏度越高。

阻值变化倍数

change ratio of dark resistance to light resistance

光敏电阻器在受到光照时所具有的电阻值称为亮电阻, 常用 R_L 表示。光敏电阻器在不受光照时所具有的电阻值称为暗电阻。常用 R_D 表示。

暗电阻与亮电阻的比值称为阻值变化倍数, 即

$$K = R_D / R_L$$

阻值变化倍数 K 愈大, 说明光敏电阻器灵敏度愈高。

光敏电阻器在受到光照时, 在外加直流偏压的作用下, 流过它的电流, 称为亮电流。常用 I_L 表示。

光敏电阻器在无光照时, 在外加直流偏压的作用下, 流过它的电流, 称为暗电流。常用 I_D 表示。

亮电流与暗电流之差称为光电流。常用 I_a 表示。

在光敏电阻器的伏安特性为线性情况下, 阻值变化倍数也可表示为亮电流与暗电流之比, 即

$$K = I_L / I_D$$

暗电阻

dark resistance

见“阻值变化倍数”。

亮电阻

light resistance

见“阻值变化倍数”。

电阻灵敏度

resistance sensitivity

光敏电阻器暗电阻与亮电阻之差同暗电阻之比称为电阻灵敏度。即

$$\frac{R_D - R_L}{R_D} = \frac{\Delta R}{R_D}$$

电流灵敏度

current sensitivity

电流灵敏度亦称为光电灵敏度和积分灵敏度。它表明光敏电阻的光电流与照射在光敏电阻上的光通量的关系。单位入射光通量下的光电流即为光敏电阻的电流灵敏度。它可以表示为光电流 (I_p) 与照射在光敏电阻上的光通量 (Φ) 之比。即

$$G = I_p / \Phi \quad (\text{单位是 微安/流明})$$

但还要考虑到, 光电流的大小除了同光通量有关外, 还同加在光敏电阻上的电压有关, 因此积分灵敏度实际上是光敏电阻在加上工作电压时, 单位入射光通量的光电流。

亮电流

light current

见“阻值变化倍数”。

暗电流

dark current

见“阻值变化倍数”。

光电流

photoelectric current

见“阻值变化倍数”。

比灵敏度

specific sensitivity

比灵敏度也称积分比灵敏度。它定义为单位电压的积分灵敏度, 即外加电压为 1 伏时的积分灵敏度

$$G_0 = \frac{G}{V} = \frac{I_p}{\Phi \cdot V}$$

积分灵敏度

integral sensitivity

即“电流灵敏度”。

积分比灵敏度

integral specific sensitivity

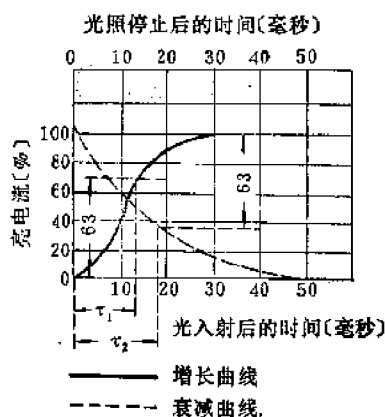
见“比灵敏度”。

时间常数

time constant of photoresistor

光敏电阻器在受到光照时, 它的亮电流并不能立刻增大到最终的稳定值, 而需要经过一段时间才能增大到最终的稳定值。当光照消失时, 流过光敏电阻器的电流也并不是立刻从原来的亮电流恢复到原来的暗电流, 也是需要经过一段时间才能减小到最终的稳定值。这就是光敏电阻器的时间延滞现象, 也称惯性, 这是一个缺点。

硫化镉光敏电阻器的亮电流增长和衰减



硫化镉光敏电阻器亮电流增长和衰减特性及时间常数

τ_1 —上升时间常数; τ_2 —下降时间常数。

特性如图所示。一般认为,多数光敏电阻器的这一特性用指数规律表示已够准确。时间常数 τ ,也称弛豫时间,可根据不同使用目的,用上升到稳态电流的半值或63%(或者下降到起始值的半值或37%)所需的时间来表示。 τ 越小说明响应越快。

弛豫时间

relaxation time

即“时间常数”。

温度系数

temperature coefficient

光敏电阻器的温度系数可用电流温度系数或电阻温度系数来表示。

电阻温度系数是指温度每变化1℃时阻值的相对变化,电流温度系数是指温度每变化1℃时电流的相对变化。它是评价光敏电阻器质量的重要参数之一。

电流温度系数

temperature coefficient of current

见“温度系数”。

伏安特性

V-I characteristic of photoresistor

光敏电阻器的伏安特性表述了光敏电阻器的亮电流与外加直流电压相互关系。亮电流随着外加直流电压的升高而增大。光敏电阻器的伏安特性基本上是线性的,只有当外加电压增大到某一定值时,亮电流才趋于饱和。

最高工作电压

maximum operating voltage

通常认为,当光敏电阻器在正常条件下,其伏安特性的线性关系开始破坏时的电压值称为最高工作电压。相对于最高工作电压值时的耗散功率,称为最大耗散功率。而在实际工作中,耗散功率是表示光敏电阻器在正常工作条件下,允许的连续负荷功率。

最大耗散功率

maximum dissipation power

见“最高工作电压”。

照度特性

illumination characteristic

照度特性表示光敏电阻器在外加电压一定时的亮电阻或亮电流与照度的相互关系。

亮电流 I_L 与照度 L 的关系为

$$I_L \propto L^\gamma$$

照度指数 γ 在弱光时为1,在强光时逐渐减少,并使亮电流趋于饱和。通常把照度指数称为斜率值,亦称 γ 值。经计算表明,在照度 L_1 与照度 L_2 之间的斜率值 γ 为

$$\gamma = -(\log R_1 - \log R_2) / (\log L_2 - \log L_1)$$

式中 R_1, R_2 ——对应于照度为 L_1, L_2 的亮电阻。

斜率值

slope value

见“照度特性”。

照度指数

illumination index

见“照度特性”。

历史效应

history effect

所谓历史效应,亦称记忆效应,是描述光敏电阻器在某一定光照下的电阻值受到上一次照射强度和持续时间的影响。这是一个缺点。

记忆效应

memory effect

即“历史效应”。

3. 压敏电阻器

压敏电阻器

varistor; voltage-dependent resistor

压敏电阻器是一种伏安特性为非线性的电阻元件,所以也称为非线性电阻器。当在它两端施加的电压增加到某一特定值时,其电阻值就急剧变小。

压敏电阻器的品种很多。按其材料的不

同可分为碳化硅压敏电阻器、硅(锗)压敏电阻器、金属氧化物压敏电阻器、钛酸钡压敏电阻器、硒化镉和硒压敏电阻器等。按其结构和制造过程可分为体型压敏电阻器、结型压敏电阻器、单颗粒层压敏电阻器和薄膜压敏电阻器等。按其伏安特性可分为对称型

压敏电阻器(无极性)和非对称型压敏电阻器(有极性)。

压敏电阻器的性能参数为标称电压、标称电流、非线性系数、通流能力和电压温度系数等。

压敏电阻器的主要性能见附表。

种 类	微观结构	伏安特性	电压范围(伏)	非线性系数 α	电压温度系数 (%/°C)	耐浪涌能力
碳化硅	体型	对称	8~50000	3~8	- (0.1~0.2)	60焦耳/厘米 ²
硅	结型	对 称 或非对称	0.6~1	12~20	-3毫伏%/°C	几十安
氧化锌	结型	对 称 非 对称	$\begin{matrix} \leq 6 \\ < 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \geq 15 \\ 12 \sim 20 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \leq -0.2 \\ \leq -0.3 \end{matrix}$	
氧化锌	体型	对称	0.6~50000	$\begin{matrix} \geq 8 \\ > 50 \end{matrix}$	-0.05	3000安/厘米 ²
齐纳二极管	结型	非 对称	4~200	100左右	-0.1	几 安

压敏电阻器具有电压范围宽、通流能力强、非线性特性优良、电压温度系数小、寿命长、体积小和价格低廉等优点,在电子和电气线路中有多种应用,如做过压保护和各种稳压元件等。

碳化硅压敏电阻器

silicon carbide varistor

碳化硅压敏电阻器所用的原材料是碳化硅晶体。碳化硅晶体经过破碎、除铁、清洗和筛析等工序后,按一定的比例与陶瓷粘合剂(粘土、长石等)相混合,对于低压压敏电阻器还要加入少量石墨粉。混合的粉料制成片形、垫圈形或棒形的生坯,然后在还原气

氛或中性气氛中在+1000~+1300°C的温度下进行烧结。最后敷设电极和防潮包封。

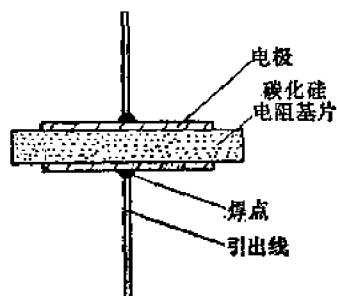
碳化硅压敏电阻器(见图)是一种体型结构的压敏电阻器。它的工艺简单,材料便宜,成本低廉,并具有对称的非线性特性、电压范围宽、耐浪涌能力强、固有电容小和性能稳定等优点。缺点是非线性系数小(一般为3~8)。

氧化锌压敏电阻器

zinc oxide varistor

氧化锌压敏电阻器是以氧化锌(ZnO)为主体材料,再加入适量的掺杂物(如氧化铋、氧化锰、氧化钴、氧化锑等),用陶瓷工艺制备而成。由于它具有碳化硅压敏电阻器一样的耐浪涌能力,又有和齐纳二极管一样优良的非线性特性,而且电压范围极宽(0.6伏~50千伏),因此它是目前能在几万伏高压电路中作稳压和过压保护的唯一固体元件。

氧化锌压敏电阻器的特点是电压非线性系数 α 大,耐浪涌能力强,电压范围宽,电压温度系数小,时间响应快,漏电流小,工



碳化硅压敏电阻器结构示意图

艺简单，成本低廉。

氧化锌压敏电阻器，按其结构原理分为结型和体型两类。

结型氧化锌压敏电阻器

junction type zinc oxide varistor

结型氧化锌压敏电阻器的非线性是依靠氧化锌电阻体与金属电极界面势垒的整流特性形成的。它可分为两种。一种是以一个电极与电阻体形成界面势垒，而另一个电极与电阻体是欧姆接触的，它的伏安特性和普通二极管相仿，是不对称的，利用其正向特性工作。另一种是电阻器的两个电极与氧化锌电阻体之间都形成界面势垒，它的伏安特性是对称的，相当于一个整流结的正向特性和另一个整流结的反向特性的迭加。由于整流结的反向特性可以通过氧化锌电阻体的掺杂、电极成分以及烧银工艺来改变，因此可在一定的范围内调节这种电阻器的工作电压。

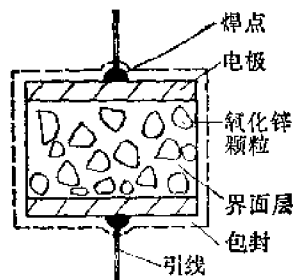
体型氧化锌压敏电阻器

bulk type zinc oxide varistor

体型氧化锌压敏电阻器的两个电极与电阻体之间都是欧姆接触的。它的非线性是由电阻体内大量氧化锌颗粒周围形成的半导体性质的界面层形成。它的工作电压不仅与材料成分和制备工艺有关，而且与电阻体的厚度成正比。体型氧化锌电阻器的性能，主要取决于杂质成分和含量，与制造工艺也有关系。氧化锌是一种电子型导电的、电阻率很低的小颗粒，烧结后其表面形成界面层。界面层是一种对电压敏感的P型氧化物，如氧化铋(Bi_2O_3)。电压不高时，界面层几乎是绝缘的，只有微安级漏电流。但当电压达到某一个数值，其电阻就急剧减小，从而表现出很好的非线性。所以，低压的氧化锌压敏电阻类似于硅稳压二极管，但从它的颗粒状链系结构来看，又类似于碳化硅压敏电阻器。故氧化锌压敏电阻器兼有两者的优点。界面

层的厚度与氧化锌粒度之比对压敏电阻的极限电压有很大影响，因此制造中要把界面层的厚度与粒径之比调整到最佳情况。

体型氧化锌压敏电阻器的结构如图所示。



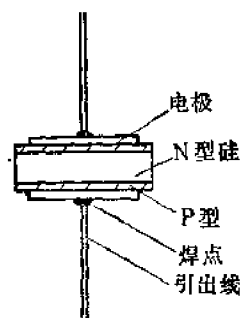
体型氧化锌压敏电阻器结构示意图

硅压敏电阻器

silicon varistor

硅压敏电阻器是用单晶硅经过杂质扩散、化学镀镍、芯片分割和焊接组装等工序而制成的结型压敏电阻器。

硅压敏电阻器实际上是一种特殊的硅稳压二极管，它不同于一般二极管的地方就在于提高了通流能力，同时通过管芯的串并联组合扩展了它的使用电压范围和取得了对称的伏安特性。



对称型硅压敏电阻器的结构示意图

硅压敏电阻器的伏安特性有对称型和非对称型两种。两管芯作反向并联或反向串联都可取得对称的伏安特性。反向并联是利用其正向特性，而反向串联则是利用反向特

性。为了提高使用电压范围,可将多个管芯作串并联组合。

硅压敏电阻器的特点是体积小,非线性系数大,工作电压低。因此广泛地应用在低压和晶体管线路中。

锗压敏电阻器

germanium varistor

锗压敏电阻器是以单晶锗为基本材料制造的一种低压压敏电阻器。其制造技术、主要特性与硅压敏电阻器基本相同。

膜式压敏电阻器

film varistor

是采用悬浮液沉淀法、汽相淀积法或真空蒸发法等制成的膜式压敏电阻器。所用的材料有硫化镉、氧化亚锡、氧化锰等。

单颗粒层压敏电阻器

single grain layer varistor

单颗粒层压敏电阻器是将碳化硅、硅等半导体颗粒单层排列在一个平面内,它们相互之间用绝缘层连起来,每个颗粒的上下两面都凸出于绝缘层之外,并与电极相接触。它的非线性特性是由颗粒和金属电极之间的肖特基势垒形成的。层状压敏电阻器的优点是非线性和重复性都较好。

对称型压敏电阻器

symmetric varistor

见“伏安特性”。

非对称型压敏电阻器

asymmetric varistor

见“伏安特性”。

伏安特性

V-I characteristic of varistor

压敏电阻器的伏安特性指流过电阻器的电流与端电压之间的关系。近似式为

$$U = CI^\beta$$

或

$$I = KU^\alpha$$

式中 $\alpha = -\frac{1}{\beta}$, $K = \frac{1}{C^\alpha}$;

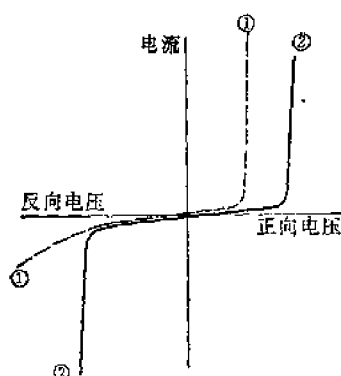
U ——加在压敏电阻器上的电压;

I ——流过压敏电阻器的电流;

α, β ——非线性系数, $\beta < 1, \alpha > 1$;

K, C ——常数。

压敏电阻器的伏安特性分为对称和非对称两种。对称型的是指反正两个方向的伏安特性完全相同;非对称型的是指反正两方向的伏安特性完全不同。其伏安特性曲线如图所示。



压敏电阻器的伏安特性曲线

①—非对称型, ②—对称型。

非线性系数 α

non-linear factor α

非线性系数 α 是压敏电阻器的一个重要参数。通常希望 α 越大越好。 α 越大,表明通过压敏电阻器的电流随外加电压的变化越大。

压敏电阻器的非线性系数,常用阻值随电压增加而下降的快慢来定义:在伏安特性曲线上某一点的静态电阻和动态电阻之比,称为该点的非线性系数。对于该点附近的 α 值可用下式求出:

$$\alpha = \lg\left(\frac{I_2}{I_1}\right) / \lg\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

式中 U_1, U_2 ——对应于电流 I_1, I_2 的电压。

压敏电阻器的 α 值,只有在某一正常的

工作范围内才是常数。通常以十倍的 I_1 等于 I_2 ，即可将公式简化为：

$$\alpha = \frac{1}{\lg\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}$$

$\frac{U_2}{U_1}$ 称为压敏电阻的电压比。 $\frac{U_2}{U_1}$ 值越小，非线性特性越好。

非线性系数 β

non-linear factor β

见“伏安特性”。

C 值

C-value

流过压敏电阻器的电流为一安时的电压值，称为压敏电阻器的 C 值。

计算表明，将 n 个特性相同的压敏电阻器串联使用时，C 值增加 n 倍，即 $C_2 = nC_1$ 。将 m 个压敏电阻器并联使用时，C 值降到原来的 $1/m^\beta$ 。因为 $\beta < 1$ ，所以并联时 C 值减少很小。

通常 C 值可用电阻器的串联或改变电阻器的几何尺寸来调整以得到所需要的工作电压。增大电阻体的面积，虽对 C 值影响不大，但对通流能力有直接的影响。串联使用时，应注意选择特性相近的压敏电阻器，否则会因功率分布不均而引起某个电阻器过负荷烧坏。

K 值

K-value

见“伏安特性”。

耐浪涌能力

surge-resistant capability

压敏电阻器的耐浪涌能力又称通流能力。

电路工作过程中，由于各种原因的影响而产生一个比正常电路电压（或电流）高出许多倍的瞬时电压（或电流）称为浪涌。这个电压（或电流）称浪涌电压（或浪涌电流）。压敏电阻器能承受浪涌的最大程度称为

耐浪涌能力，可用耐浪涌能量、耐浪涌电压或耐浪涌电流表示，单位分别是焦耳/厘米³、伏/毫米、安/厘米²。

压敏电阻器耐浪涌能力的大小与其本身的结构、材料和工艺有关，同时也与电脉冲的波形、持续时间和脉冲间隔有关。

通流能力

through-current capability

即“耐浪涌能力”。

功率特性

power characteristic

压敏电阻器的直流消耗功率可表示为

$$P = IU = CI^{\beta+1}$$

或

$$P = KU^{\alpha+1}$$

式中 U ——端电压，

I ——流过电阻器的电流，

β, α ——非线性系数；

K, C ——常数。

由此可见，当电压增加时，功率随电压的 $(\alpha + 1)$ 次幂增加。所以通常在技术条件中对最高使用电压（或称标称电压），最大使用电流（或称标称电流）和容许最大功率都分别加以规定，使用时必须将工作电压（或工作电流）严格限制在规定范围内。对于交流电压还必须限制其峰值不高于标称电压，才能保证压敏电阻器不因过载而损坏。

电压温度系数

voltage temperature coefficient

当通过压敏电阻器的电流保持恒定时，温度每改变一度电压的相对变化百分比，称压敏电阻器的电压温度系数。

电压温度系数为

$$\alpha_v = \frac{1}{U_1} \cdot \frac{(U_2 - U_1)}{(T_2 - T_1)} \times 100 \quad (\%/^{\circ}\text{C})$$

式中 U ——电压，

T ——温度。

此外，在应用中也使用电流温度系数，它的定义是：在电压恒定条件下，温度每改

变一度电流的相对变化的百分比。

电流温度系数

current temperature coefficient

见“电压温度系数”。

电阻温度系数

resistance-temperature coefficient of varistor

在通过压敏电阻器的电流恒定条件下, 温度每改变一度阻值的相对变化的百分比, 称压敏电阻器的电阻温度系数。在实际应用中, 用电压温度系数较为方便。

电压比

voltage ratio

见“非线性系数 α ”。

固有电容

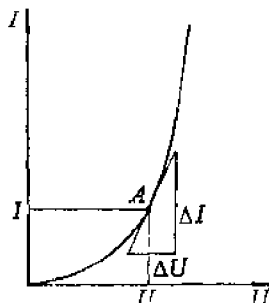
natural capacitance

各种类型的压敏电阻器, 尽管它们的结构和材料各有不同, 但都程度不同地存在着一定的电容量。这个电容称固有电容。容量的大小与结构尺寸、材料种类、制造工艺等因素有关。碳化硅压敏电阻器的固有电容为10~50微微法, 氧化锌压敏电阻器为几百到几千微微法。由于压敏电阻器固有电容的存在, 限制了它的高频使用, 目前工作频率仅限制在音频范围内。

静态电阻

static resistance

在压敏电阻器伏安特性曲线的任意一点A(见图)上, 电压 U 与电流 I 的比值 $\left(\frac{U}{I}\right)$



压敏电阻器的伏安特性曲线

$=R_s$) 称为该点的静态电阻。A点切线的斜率 $\left(\frac{\Delta U}{\Delta I}=R_d\right)$ 称为该点的动态电阻。

动态电阻

dynamic resistance

见“静态电阻”。

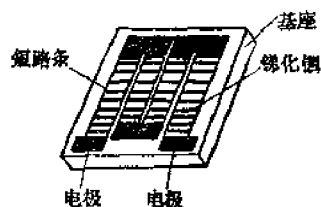
4. 磁敏电阻器

磁敏电阻器

magnetoresistor

磁敏电阻器是利用磁电阻效应做成的敏感电阻器, 又叫磁控电阻器或场板。它的阻值随着穿过它的磁通密度的增大而增大。制做这种电阻器通常采用铽化铟或碲化铟等材料。为了增大阻值和提高灵敏度, 电阻体经常做成弯弯曲曲的“迷宫形”, 并通过光刻等方法形成栅状的铟短路条, 因此有时又叫“栅板”。在拉制铽化铟单晶时, 如加入1%的镍, 可得到铽化铟铽化镍共晶材料。在这种共晶材料中, 铽化镍以针状析出, 并作定向排列。由于铽化镍的电导高于铽化铟, 如果使电流方向垂直流过针状铽化镍, 则它恰好起着短路条作用。因此用铽化铟铽化镍共晶材料做磁敏电阻器, 可不用制备短路条, 而且它的阻值与灵敏度都较用金属短路条的磁敏电阻器高。电阻体最后固定在基座上, 基座有磁性与非磁性两种。

磁敏电阻器在测量技术、自动控制和信息处理等方面获得广泛应用; 它可用于测量磁场强度、位移、频率、功率; 可进行直流-交流变换、斩波、变频、模拟运算(乘法、平方、开方、立方、开立方、三次代数运算



栅板磁敏电阻结构示意图

等);并可制成可变电阻器、无接触电位器和无接触旋转开关等。

磁控电阻器

magnetic field dependent resistor

即“磁敏电阻器”。

场板

field plate

见“磁敏电阻器”。

栅板

raster plate

见“磁敏电阻器”。

磁敏电位器

magnet-potentiometer

磁敏电位器是利用磁电阻效应的原理,通过改变磁场强度而改变输出参量的电位器。磁敏电位器主要由两部分构成,一部分是磁敏电阻,它是在熔融的锑化铟(InSb)半导体材料中掺入1%的镍(Ni)制成;另一重要组成部分是可变磁场,可变磁场有励磁线圈和永久磁铁式两类。这种电位器没有由机械接触引起的噪声,分辨力高,可靠性高,寿命长,高频特性好,没有阻值跳跃和断线等现象,而且重复性好。常用于高频电路、脉冲电路和阻抗力矩测量等装置中。

磁电阻效应

magnetoresistance effect

半导体材料的电阻率随着磁场强度的增强而加大,这种现象称磁电阻效应。磁阻的产生是由于有磁场时载流子的运动发生偏转,它从一个电极到另一电极所走的路程比起没有磁场时要长,所以电阻就增大。实际上,磁阻与载流子在材料中散射(碰撞)的细致规律和具体的能带结构有关。通常载流子迁移率随磁场强度的增大而减小,于是电阻率就增加。在弱磁场下,材料电阻相对变化率正比于磁场强度 B 的平方。在强磁场下,材料电阻相对变化率与 B 成正比。

横向磁电阻

transverse magnetoresistance

当流过半导体材料的电流和穿过该材料的磁场相互垂直时,半导体材料的阻值随磁场而变化,这种电阻值的变化称为横向磁电阻。当磁场和电流相互平行时,半导体材料的电阻值随磁场的变化称为纵向磁电阻。

纵向磁电阻

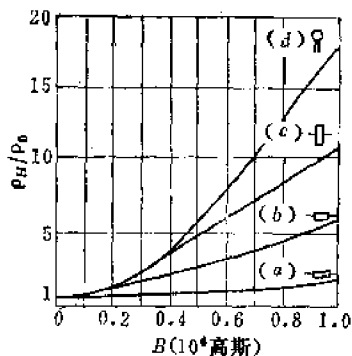
longitudinal magnetoresistance

见“横向磁电阻”。

几何磁电阻效应

geometrical magnetoresistance effect

实践中发现,材料的磁阻除由磁场强度 B 决定外,还与其几何形状有密切关系,这种现象称几何磁电阻效应或尺寸效应。例如,对于窄而长的样品,磁电阻小;对于圆盘状等样品,磁电阻大。下图是由同一种锑化铟材料制成的不同形状样品在室温下的磁场强度 B 与相对电阻率 ρ_H/ρ_0 的关系曲线(其中 ρ_H 和 ρ_0 分别表示有或无磁场时的电阻率)。



磁场强度与相对电阻率的关系曲线

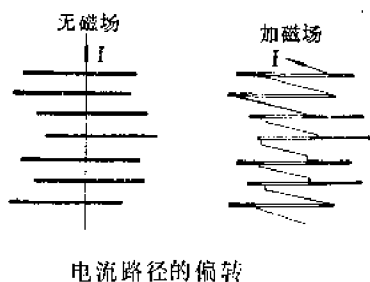
短路条

short-circuiting stripe

在制造磁敏电阻器时,为了增强磁电阻效应,通常在材料表面淀积许多彼此平行的与电流方向垂直的金属电极,称为短路条。没有磁场时,电流的方向如下图所示。外加磁场后,霍尔电场在半导体中使电流发生偏转,而金属条则起着短路霍尔电势的作用,电流要通过很长的路径,才能从一电极到另

一电极。由此可见,有了短路条之后,磁阻会增大很多,从而提高了磁敏电阻的灵敏度。

短路条可以用光刻形成。常用的金属有铜、镍和银等。



5. 力敏电阻器

力敏电阻器

piezoresistor; piezoresistance device

力敏电阻器是利用压力电阻效应制成的一种电阻器。过去已经知道的力敏电阻体有铌、锑以及用于应变计中的白金等,但后来发现,半导体在灵敏度等方面比这些材料更为优良。所以半导体力敏电阻器的应用就越来越广泛。

利用力敏电阻器可以将机械力和加速度等转换成电信号。能完成这个转换功能的还有压电晶体换能器。但因压电晶体是一种绝缘体,所以虽有电势产生,而电流极微,功率灵敏度很低。力敏电阻器则可通入电流,故可获得比压电晶体高得多的功率灵敏度。此外,还有另一个优点,就是制造方便。因为力敏电阻器可用真空淀积的多晶薄膜来制造,即使采用单晶半导体,也不需要经过专门的形成 P-N 结的过程,这就使制造工艺大为简化。

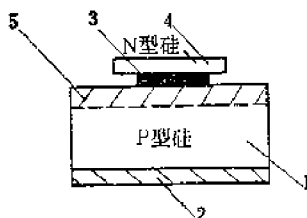
在科学实验和生产实践中经常需要将机械力和加速度转换成电信号,所以力敏电阻器是一种很有用的半导体元件。用它可以做转矩计、延度计、张力计、加速度计、半导体话筒和各种压力传感器等。同时,这种

压力电阻效应也可用来分析半导体中的导电机理。

硅力敏电阻器

silicon piezoresistor

硅力敏电阻器是力敏电阻器中生产较早的一种。其结构如图所示。力敏体 1 是 P 型单晶硅,在其一面扩散一层超高浓度杂质,如铜、金等金属。然后在两个主要面上制备电极。电极 2 是欧姆电极,3 是整流接触电极,可用蒸发法制成很薄的一层。压力传递板 4 可采用单晶或多晶硅板,通过它把外压力传递到力敏体 1 上去。因为 4 是板型,故可增加机械强度。选用的压力传递板的导电类型,要与力敏体的导电类型相反,如果 1 是 P 型,则 4 是 N 型,使两者接触形成 P-N 结。



硅力敏电阻器结构示意图

1—力敏体; 2—欧姆电阻; 3—整流接触电极;
4—传递板; 5—超高浓度区。

硒碲合金力敏电阻器

selenium-tellurium alloy piezoresistor

制作力敏电阻器要选择压力电阻系数较高的材料。硒和碲单元素的压力电阻系数都比硅、锗高,因此可用来制成灵敏度较高的力敏电阻器。研究表明,在垂直于硒碲合金晶轴 C 的方向上,其压力电阻系数更高。例如,原子比为 70:30 硒碲合金,压力电阻系数大约是硒的六倍。所以,用这种合金可制成灵敏度更高的力敏电阻器。

压力电阻效应

piezoresistance effect

材料的电阻率随外加应力而改变的现

象,称为压力电阻效应,它在半导体材料中最为显著。

压力电阻效应的产生,是由于半导体在应力作用下品格间距发生变化,禁带宽度改变,同时载流子的相互作用也改变,以致影响到载流子浓度和迁移率,因而电阻率就改变。

压力电阻效应同压电效应不能混为一谈,压电效应是在外加应力的作用下晶体相对两面产生异性电荷。

压力电阻系数

piezoresistance coefficient

压力电阻系数表示每平方厘米加 1 达因的力所引起的电阻率的相对变化,以 π 表示。

一些单元素半导体材料的压力电阻系数见下表。

材 料	品向	π (厘米 ² /达因)
N 型 锗	111	9×10^{-11}
P 型 锗	111	6×10^{-11}
P 型 硅	111	7×10^{-11}
P 型 硒	100	120×10^{-11}
P 型 碲	100	40×10^{-11}

6. 气敏电阻器

气敏电阻器

gas sensitive resistor

气敏电阻器一般是利用半导体表面吸收某种气体分子后发生氧化或还原反应而使电阻率改变的特性制成的电阻元件。制造这种电阻器通常采用非化学配比的金属氧化物半导体材料,分为 N 型、P 型和结型等三种。N 型气敏半导体(如氧化钨、氧化锌、氧化锡、氧化钛、氧化钒等)遇还原性气体(如氢、一氧化碳、甲烷等)时,这些还原性气体分子取代了氧的位置,以正离子状态吸附在半导体的表面,使导带电子密度增加,电阻减小。P 型金属氧化物半导体(如氧化镍、三氧化二铬、氧化亚铜等)则与 N 型金属氧化物半导体的情况相反,即遇到能提供电子

的还原性气体时电阻增大;而遇到能吸引电子的氧化性气体(如氧、氯、二氧化氮等)则电阻减小。

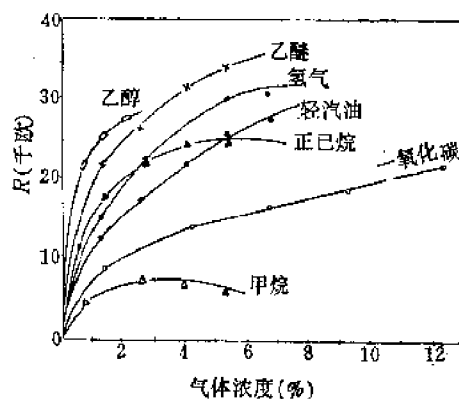
目前最常用的气敏电阻器为 N 型氧化锡气敏半导体电阻器。这种电阻器可用镀膜法、浸涂法或烧结法制成。例如,将具有一定导电性能的 β -二氧化锡多晶体经充分研磨后敷在两只螺旋状铂电极上模压成型,干燥后用 5% 氯化钯浸泡,然后在 +700℃ 的电炉中焙烧和自然降温即成。利用气敏半导体电阻器制成的气敏探测器,可用于各种管道和密封系统的探漏、环境污染监测、安全防火和自动控制等方面。

气敏电阻器是一种新型半导体元件,它和目前常用的催化元件相比,具有灵敏度高、工作温度低、结构简单、使用安全和成本低等优点。

灵敏度

sensitivity

气敏电阻器的灵敏度表示气敏电阻器的阻值与气体浓度之间的依赖关系。对于不同种类的气体,灵敏度有很大的差异。如图所示,气敏电阻器对乙醚、乙醇、氢气及碳链较长的烷烃(如正己烷)等都具有较高的灵敏度。随着可燃气体浓度的增加,气敏电阻器阻值的变化也加大,一般呈抛物线形式,而在一定范围内具有线性关系。



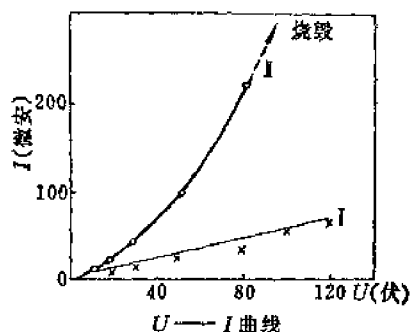
气敏电阻器对各种气体的灵敏度

在材料中掺入某些过渡金属氮化物(如氯化镍、氯化铜)或贵金属化合物(如氯化金、氯化钯)可促进元件的吸附活性,显著提高元件的灵敏度,扩大测量范围。在一定范围内,灵敏度还随加热电流的增大而提高。

伏安特性

V-I characteristic of gas sensitive resistor

它表示通过气敏电阻器的电流与电压之间的关系。该特性曲线呈线性关系。如图所示,通气前和通气后的斜率不同,利用这一特性可在一定范围内调整通过元件的电流大小。若气敏电阻器上所加电压过高,则元件接触高浓度可燃气体时就易被击穿毁坏,所以元件上的电压应不超过击穿电压。



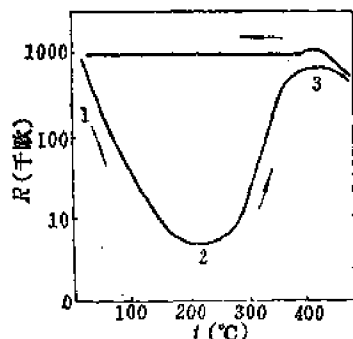
气敏电阻器的伏安特性曲线

I—通气前; I—通甲烷1.7%后。

电阻-温度特性

resistance-temperature characteristic of gas sensitive resistor

气敏电阻器有一特殊的电阻-温度特性曲线。它的形状如图所示,其阻值在升温过



电阻-温度特性曲线

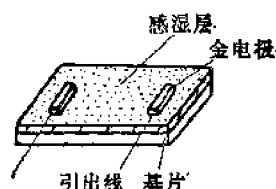
程并不与降温时相同。从图中可以看出,气敏电阻元件的电阻-温度关系具有两个特征:一个是加热过程中电阻的非线性变化;另一个是降温过程中,电阻-温度关系的不可逆性。这两个过程表明气敏电阻元件的电阻-温度关系是元件表面对大气中氧的吸附与脱附作用的结果。

7. 湿敏电阻器

湿敏电阻器

humidity-dependent resistor

湿敏电阻器是一种电阻值随环境相对湿度而变化的敏感元件。它主要由感湿层(湿敏层)、电极和具有一定机械强度的绝缘基体所组成。其结构通常如图所示。



湿敏电阻器结构图

感湿层在吸收了环境中的水分后引起两电极间阻值的变化,这样就能直接将相对湿度变换成电阻值。它比常用的毛发湿度计和干湿球湿度计更便于使用,而且在精度上也比一般毛发湿度计高,可广泛应用于各种湿度测量和控制系统中。

湿敏电阻器按其感湿层所用材料可分成很多种。目前研制和生产的主要有氯化锂湿敏电阻器、碳湿敏电阻器、氧化物湿敏电阻器,以及硫酸钙、氟化物、碘化物、偏磷酸盐等湿敏电阻器。

对湿敏电阻器的基本要求是电阻湿度系数大,电阻值对温度稳定,并且在0~100%的相对湿度范围内电阻值能有规则地重复变化。其次,还要求老化效应小,响应速度快。

氯化锂湿敏电阻器

lithium chloride humidity-dependent

resistor

氯化锂是一种吸湿性盐类材料,将它涂在有机绝缘基体上或用多孔性合成树脂材料浸透氯化锂,就能构成湿敏电阻器。这种湿敏电阻器在湿度测量和控制仪表中得到了广泛的应用。它的缺点是测量范围小,受温度影响比较大。

碳湿敏电阻器

carbon humidity-dependent resistor

碳湿敏电阻器是先在绝缘基体上制备两个电极,然后在电极之间喷涂或浸渍一层感湿电阻层构成。感湿层所用的材料是含有碳粒的有机胶状纤维素。有机材料吸潮后,体积膨胀,碳粒间距离增大,从而使电阻值增加。但在干燥条件下,有机材料脱水收缩,碳粒间距离缩短而使电阻值减小。这种湿敏电阻器工艺简单,便于制造。缺点是低湿度时灵敏度较低,滞差较大,阻值随温度变化较大,而且具有较大的老化效应。

氧化物湿敏电阻器

oxide humidity-dependent resistor

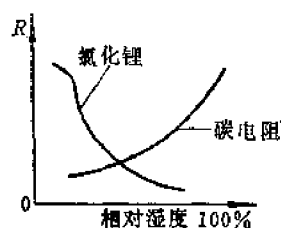
这是一种用氧化物作感湿层的电阻器,其电阻湿度系数大都为负值(镍铁酸盐湿敏电阻器除外)。在0~100%整个相对湿度范围内,电阻和相对湿度的关系是规则的变化。这种湿敏电阻器可在湿度很大的环境中长期重复使用,温度系数小,性能比其它几种湿敏元件都优越。属于这一类的感湿材料品种很多,主要有下面几种:

- (1) 碱金属氧化物——五氧化二钒和硅粉复合感湿材料;
- (2) 三氧化二铁为主体的感湿材料;
- (3) 镍铁酸盐($\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}\text{O}_4$)感湿材料;
- (4) 三氧化二铬和五氧化二钒为主体的感湿材料;
- (5) 氧化锡和氧化铋感湿材料。

湿度特性

humidity characteristic

湿敏电阻器的电阻值随相对湿度一般呈指数关系变化。当电阻值随相对湿度的增大而增加时,称为正的电阻湿度特性;当电阻值随相对湿度的增加而减小时,则称为负的电阻湿度特性。碳湿敏电阻器的电阻湿度特性是正的,而碱金属氧化物湿敏电阻器的则是负的。

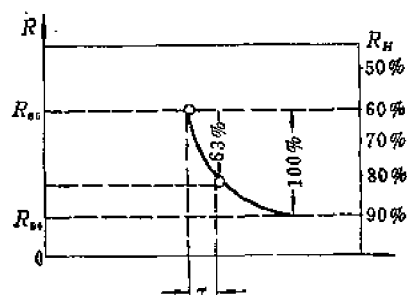


湿敏电阻器电阻湿度特性

时间常数

time constant of humidity dependent resistor

湿敏电阻器的时间常数是衡量湿敏电阻器阻值随相对湿度跃变而变化的速度的一个参数。当相对湿度发生阶跃时,湿敏电阻器的阻值增量由零变化到稳定增量的63%所需的时间,叫作湿敏电阻器的时间常数。



负特性湿敏电阻器响应时间曲线

湿滞效应

humidity hysteresis

湿敏元件周围的相对湿度变化一个往返周期,其相应的电阻值变化曲线在升湿和降湿过程中并不重复,形成一个类似磁滞回线的湿滞环,通常也称“变差”。“变差”越小越好。

电 容


一、电容器基本知识


电容器


capacitor

电容器是由两个金属电极，中间夹一层电介质构成。在两个电极之间加上电压时，电极上就贮存电荷。所以，电容器实际上就是贮存电能的元件。电容器具有阻止直流电通过，而允许交流电通过的特征。是电子设备中不可缺少的重要元件之一。

电容器根据电容量是否可以调整，可分为三大类：

(1) 固定电容器——电容量不能改变，在电路中所用的符号是；

(2) 可变电容器——电容量可以在一定范围内进行调整，在电路中所用的符号是；

(3) 微调电容器——又称半可变电容器或补偿电容器，电容量可以调整，但在每次调整好以后，就固定在一定的数值，在电路中所用的符号是。

根据电容器使用在直流电场和交流电场的不同，又可分为直流电容器和交流电容器两种。

实际上，电容器的电性能、结构和用途在很大程度上取决于所用的电介质，因此电容器常按电介质分类。电容器按所用电介质可概分为以下几类。

(1) 固体有机介质电容器——如纸介电容器、有机薄膜介质电容器、纸膜复合介质电容器等。

(2) 固体无机介质电容器——如云母电容器、陶瓷电容器、玻璃电容器、玻璃釉

电容器等。

(3) 电解电容器——如铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器等。

(4) 气体介质电容器——如空气电容器、充气电容器、真空电容器等。

(5) 液体介质电容器——介质采用矿物油或合成液体。这种电容器应用不多。

电介质的极化

dielectric polarization

在电场作用下，介质中束缚着的电荷发生弹性位移或者是极性分子按电场方向转动的现象，称为电介质的极化。极化一般分为电子极化、离子极化、偶极子极化、层间极化、结构极化和自发极化等。根据极化形式的不同，介质表征出来的介电常数和损耗值也大不相同。此外，按极化完成的时间又可分为快速极化和缓慢极化。

介质吸收

dielectric absorption

将电容器充电到某一电压后，立即短接放电片刻，然后将电路开路，此时电容器两端又逐渐出现一定数值的电压。此种现象称为介质吸收。

介质吸收以“吸收系数”表示：

$$\text{吸收系数} = \frac{\text{剩余电压}}{\text{充电电压}} \times 100\%$$

剩余电压是将电容器充电相当长时间，然后短接放电（如2秒钟），再开路一段时间（如1分钟、10分钟），而后于两端测得的。

对这种现象的解释是：由快速极化部分所充的电荷，一经短路立即放电，而由缓慢

极化部分所充的电荷,还未来得及全部放完,这时电路再一打开,未放完的电荷就连续向快速极化部分充电而使剩余电荷转移过去,因而电容器两端又呈现出一定数值的电压。

由于介质吸收的存在,一些脉冲电路和其它要求迅速充电和放电的电路中,就会影响控制速度和控制作用,所以要求选用吸收系数小的介质来制作电容器。对于高压大容量电容器,在刚刚开路时,如人体接触到电容器的引出极,则有被电击的危险。

电容量

capacitance

电容器的电容量是指电容器加上电压后贮存电荷的能力,贮存电荷的多少,决定着电容量的大小。贮存电荷数愈多,电容量愈大,贮存电荷数愈少,电容量愈小。电容量大小与电极面积、介质厚度和介质的介电常数有关。电极的有效面积愈大,介质愈薄(即电极之间的距离愈短),介质的介电常数愈大,则电容量也愈大。反之,电极面积愈小,介质愈厚(即电极之间的距离愈大),介电常数愈小,则电容量愈小。平行板电容器的电容量的关系式为

$$C = \frac{1}{9 \times 10^{11} \times 4\pi} \cdot \frac{\epsilon S}{d}$$

$$= \frac{10^{-12}}{3.6\pi} \cdot \frac{\epsilon S}{d}$$

式中 ϵ ——介质的介电常数;
 S ——极片的有效面积,厘米²;
 d ——极片间的距离(介质厚度),厘米;
 C ——电容量,法。

电容量的单位是法拉(简称法),但在实用上这个单位太大,一般用微法或微微法。

1微法(μF)= 10^{-6} 法(F)

1微微法(pF或 $\mu\mu\text{F}$)= 10^{-6} 微法= 10^{-12} 法

标称电容量

rated capacitance

标称电容量是标志在电容器上的名义电容量,其数值是按照一定优选系列规定的。

实际电容量常与标称电容量存在一定偏差,称为电容量误差。电容器实际电容量对于标称电容量的允许最大偏差范围,称为电容量允许误差。就纸介电容器来说,通常按其电容量允许误差分为三级,即Ⅰ级为 $\pm 5\%$,Ⅱ级为 $\pm 10\%$,Ⅲ级为 $\pm 20\%$ 。

电容量误差

capacitance tolerance

见“标称电容量”。

介电常数

dielectric constant

采用某种介质的电容器的电容量与同样几何尺寸的真空电容器的电容量的比值,称为该介质的相对介电常数,习惯上称为介电常数,也称介电系数。

电容温度系数

temperature coefficient of capacitance

指在一定温度范围内,温度每变化一度电容量的相对变化值。电容量随温度的变化,在很大程度上取决于介质的介电常数随温度的变化,同时与电容器几何尺寸受温度变化的影响程度有关。如果电容量与温度的关系是线性的,则电容量温度系数为

$$\alpha_c = \frac{1}{C_0} \cdot \frac{C_t - C_0}{t - t_0}$$

式中 C_0 ——室温 t_0 时的电容量;
 C_t ——温度 t (最高或最低工作温度)时的电容量;
 α_c ——电容温度系数(α_c 一般很小,常用 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 表示)。

如果电容量与温度的关系是非线性的,按上式算出的是电容温度系数的平均值。

电容量温度变化百分率

percentage of capacitance variation with temperature

电容量温度变化百分率是由室温到最高

或最低工作温度时电容量的相对变化百分比, 即

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{C_t - C_0}{C_0} \times 100\%$$

式中 C_0 ——室温时电容器的电容量;
 C_t ——正负极限温度时电容器的电容量;

ΔC ——电容量温度变化百分率。

对于一些电容量随温度变化较大而且在工作中对这方面没有严格要求的电容器, 通常用电容量温度变化百分率来表示其电容量的温度特性。

电容量温度稳定性系数

capacitance-temperature stability coefficient

电容器经受数次温度循环、潮热试验、高温负荷试验等加速人工老化或自然老化以后, 电容量会产生不可逆的剩余变化。电容量的温度稳定性系数 β_c 以试验前后的室温电容量变化百分率表示, 即

$$\beta_c = \frac{C_1 - C_0}{C_0} \times 100\%$$

式中 C_0 ——试验前的室温电容量;
 C_1 ——试验后的室温电容量。

电介质的电阻率

dielectric resistivity

电介质的电阻率是表征电介质绝缘质量的一个物理量。电阻率一般有体积电阻率和表面电阻率两种。

体积电阻率为单位横截面积 (厘米²) 单位长度 (厘米) 的电介质所具有的电阻值, 通常以 ρ_v 来表示。其单位为欧姆·厘米。电介质的体积电阻率一般等于或大于 10^{10} 欧姆·厘米。

表面电阻率为单位宽度 (厘米) 单位长度 (厘米) 的电介质表面所具有的电阻值, 通常以 ρ_s 表示。其单位为欧。表面电阻率与电介质的表面状态 (如受潮、污染等) 有

很大的关系。

漏电流

leakage current

对于理想的电容器来说, 当加上直流电压时, 电流随时间增加逐渐下降到零, 电容器两端的电压逐渐增加到接近外加电压。实际上, 电容器在充电时, 电流并不降到零, 而是降至某一恒定的数值, 该电流称为电容器的漏电流。漏电流主要是由于在电场的作用下电容器中的自由离子和电子移动而形成的。

电解电容器的绝缘电阻一般以漏电流来表示, 其数值与电容量大小, 施加电压值有关, 即

$$I_L = KCU$$

式中 I_L ——漏电流, 微安;
 C ——标称电容量, 微法;
 U ——额定工作电压, 伏;
 K ——与电容器类型有关的常数 (例如钽电解电容器, K 值取 $0.02 \sim 0.04$)。

绝缘电阻

insulation resistance

电容器的绝缘电阻是加在电容器上的电压与通过电容器的漏电流的比值。例如, 外加电压为 U (伏), 漏电流为 I_L (微安), 则电容器的绝缘电阻

$$R = \frac{U}{I_L}$$

电容器的绝缘电阻的单位一般用兆欧表示。

电容器的绝缘电阻是电容器的重要参数之一。电容器必须具有高的绝缘电阻。一般在5000兆欧以上。

关于电容器绝缘电阻的测试电压和测试时间, 应根据不同的电容器和技术要求而定。

时间常数

time constant of capacitor

电容器的时间常数 τ 是电容器的绝缘电

阻 R 与电容量 C 的乘积, 即 $\tau = RC$ 。如果 R 的单位为兆欧, C 的单位为微法, 则 τ 的单位为秒, 也可以用兆欧·微法或欧·法表示。或者说, 充电后的电容器的端电压由于自行放电而逐渐下降, 当电压下降到充电电压的 36.8% 时所需的时间称为电容器的时间常数。

时间常数实际上是大容量电容器的绝缘电阻的另一个表示方法。因此, 电容器质量的好坏也常用时间常数 τ 来评价。

充电

charging

将电压加到电容器上时, 电容器的一个极板将逐渐积累正电荷, 另一极板则积累负电荷, 而极板之间的电位差将随极板上电荷的增多而增高。当电位差与外加电压平衡时, 极板上才不再继续积累电荷。这个过程称为电容器的充电。电容器充电时, 将以电能的形式把能量贮存在电容器中。

放电

discharging

若将充好电的电容器两端短路, 则电容器两极板所贮存的正负电荷相互中和, 即将所贮存的能量放出, 这就是电容器的放电。由于放电时所得的瞬时电流很大, 所以常被应用于试验大功率的开关设备、电焊、电气引爆以及激光技术等方面。

损耗

loss

电容器在使用过程中消耗的电能称为电容器的损耗。电容器的能量损耗是由介质损耗和金属部分的损耗所组成的。其中介质损耗与电容器的介质特性、使用频率、温度等有关。而金属部分的损耗则与电容器中采用的引出线、极板等所用的材料以及芯子结构等因素有关。

电容器中能量损耗是以那一部分为主, 这要根据具体电容器及其使用条件而定。

介质损耗

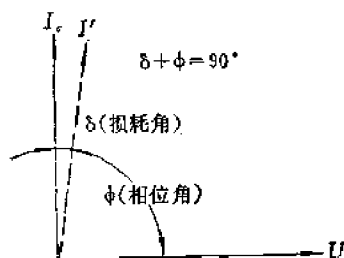
dielectric loss

介质损耗就是在交变电场作用下, 由于介质的极化过程和电流的漏导等原因在介质内产生的能量损耗。介质损耗取决于介质材料的结构, 并与电场频率、温度和电压有关。介质损耗将在介质内部产生热量, 它是电容器损耗的主要部分, 因此对电容器来讲介质损耗愈小愈好。

损耗角正切

loss angle tangent

在理想的电容器中通过正弦交流电时, 电流超前电压的相位角为 90° , 电容器不消耗能量, 损耗功率为 $UI \cos \phi = 0$ 。但是实际电容器中由于有能量损耗存在, 相位角 ϕ 小于 90° , 它的余角 δ 叫作损耗角 ($\delta + \phi = 90^\circ$) (见图)。电容器的损耗功率为 $UI \cos \phi$ 或 $UI \sin \delta$, $\cos \phi$ 或 $\sin \delta$ 称为功率因数。一般电容器的损耗角 δ 很小, 以致可以将 $\cos \phi$ 或 $\sin \delta$ 近似地看作为 $\tan \delta$ 。



电容器的电压、电流的相位图

损耗角正切 $\tan \delta$ 是表征电容器或介质损耗质量的重要参数, 它是电容器或介质的有功功率 (损耗功率) 与无功功率之比, 即:

$$\frac{P_{\text{有}}}{P_{\text{无}}} = \frac{UI \sin \delta}{UI \cos \delta} = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \tan \delta$$

功率因数

power factor

见“损耗角正切”。

品质因数

Q-factor

电容器的品质因数就是损耗角正切 (或

功率因数)的倒数,即 $Q = \frac{1}{\tan \delta}$ 。换句话说,它可以定义为电容器中所贮存的无功功率和所消耗的有功功率之比。在电子技术中有时采用品质因数来评价高频电容器的质量。

损耗因数

dissipation factor

电容器的损耗因数等于品质因数 Q 的倒数,因此也就等于电容器的损耗角正切。

等效串联电阻

equivalent series resistance

在电容器的等效串联电路中, $\tan \delta = \frac{r}{X_c} = \omega C_r$, $\omega = 2\pi f$ (f 为频率), r 为等效串联电阻 (欧),也是表征电容器损耗角大小的一个代替性参数, X_c 为电容器的电抗。

R 值也可表示为 $R = \sqrt{Z^2 - X^2}$ 。式中 Z 为电容器的阻抗 (欧), X 为包括容抗与电容器电感所形成的感抗在内的电抗的代数和。当电容器在谐振频率时 $X = 0$, 电容器的阻抗 Z 即等于 R , 此时 R 为电容器阻抗的最低值,其大小与电容器的耗散因数有关。

等效并联电阻

equivalent parallel resistance

在研究电容器的损耗角正切时,可以将电容器的有功功率看作是消耗在一个等效电阻上,贮存能量的是一个等效电容,可以由等效串联电路或等效并联电路表示。

在电容器的等效并联电路中, $\tan \delta = \frac{1}{R\omega C_R}$, 其中 $\omega = 2\pi f$ (f 为频率), R 为等效并联电阻 (欧)。当电容器的等效并联电阻 R 愈小时,电容器的 $\tan \delta$ 愈大,说明介质中漏电流愈大,电容器介质中的损耗愈大。

电介质击穿

dielectric breakdown

把电压加到电介质上,并逐渐升高电压,当电压超过某一极限值时,通过介质的

电流急剧增加,电介质的介电性能被破坏,这种现象称为电介质击穿。这时的电压称为电介质的击穿电压,相应的电场强度称为击穿电场强度。电介质的击穿,在一般情况下分电击穿、热击穿和老化击穿等。

(1) 电击穿是加于电介质上的电压使电介质的微观结构破坏,以致出现很大的电子电导,致使两电极产生短路的现象。

(2) 热击穿是电介质长期工作时,电介质中的热平衡被破坏,其内部由于介质损耗所产生的热量比能散出去的热量越来越多,最后导致介质热崩溃的现象。这种击穿特别容易发生在高频、高压情况下。

(3) 老化击穿是由于电介质在电场的长期作用下以及外界因素的促使下,电介质老化,电性能逐渐下降而引起的一种击穿现象。

电介质击穿强度

dielectric breakdown strength

见“电介质击穿”和“电介质绝缘强度”。

电介质绝缘强度

dielectric insulating strength

电介质在不致被击穿的情况下所能承受的最高电场强度称为电介质的绝缘强度,通常用千伏/毫米表示。绝缘强度与介质的微观结构厚度、温度、电压的频率和波形以及加电压的方式等有关。绝缘强度也称为介电强度、抗电强度和耐压强度。

电晕和电晕电压

corona and corona voltage

气体在强电场作用下,当电压超过气体的游离电压时,就发生局部放电,这种现象叫作电晕。能显示出明显的电晕时的电压叫电晕电压。

电容器内部往往有空气隙存在,当电容器在强电场作用下会发生电晕,产生电晕时的电压叫电容器的电晕电压。

由于空气在电晕时要分解出臭氧等有害

气体, 因此电容器在长期电晕电压作用下, 将促使电容器的电介质老化, 电容器的性能逐渐恶化, 最后导致电容器失效。

随着工作频率的提高, 电晕游离加速。因此, 在交流电路中工作的电容器要考虑电晕的影响。

击穿

breakdown

电容器的击穿是电容器在工作过程中, 由于电介质或绝缘体被破坏而导致短路的现象。关于击穿机理见“电介质击穿”。

击穿电压

breakdown voltage

电容器击穿时的电压称为电容器的击穿电压。

额定工作电压

rated operational voltage

电容器的额定工作电压, 是指在规定的温度范围内, 电容器能够长期(指工作寿命内)可靠地工作的最高电压。

试验电压

test voltage

电容器在出厂以前, 必须经过耐压试验。所施加的电压应当是既不会对大批产品造成损害, 又能剔除那些因原材料和工艺上有明显缺陷而使绝缘强度显著降低的电容器。这种测试电压称为试验电压。试验电压施加时间为 10 秒钟或 1 分钟。试验电压值的大小介于击穿电压和工作电压之间, 三者存在一定的比例关系, 其比例系数因电容器种类和规格而异。

电感

inductance

电流通过电容器, 其导体部分就产生电感。该电感称为电容器的电感。电容器的电感主要由芯子电感、引出线电感和金属外壳电感组成, 其电感量通常在几个毫微亨到几百微亨。

由于电容器有电感存在, 随着工作频率的增高, 电容器的感抗也增加。当工作频率超过电容器的谐振频率($f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, 式中 L

为电容器的电感, C 为电容器的电容)时, 电容器就变成了电感器。所以, 电容器由于电感的存在限制了它的工作频率上限。在脉冲电路中, 电容器的电感将影响脉冲波形和限制脉冲频率; 在其它电路中, 还会降低滤波效果和减缓充放电时间, 甚至在电路通断瞬间, 有在电容器上形成数倍过电压的危险。

为了减少电容器的电感, 可以从电容器的结构设计和制造工艺等方面进行改进。

比特性

ratio characteristic

电容器的电容量、贮存的能量、无功功率、贮存的电荷等对其体积或重量之比, 统称电容器的比特性。

在评价低压电容器时, 通常用比电容。

$$\text{比电容} = \frac{C}{V} \text{ 微法/厘米}^3$$

式中 C ——电容量, 微法;

V ——电容器的体积, 厘米³。

在评价高压电容器时, 通常用比能量。

$$\text{比能量} = \frac{W}{V} \text{ 焦耳/厘米}^3$$

式中 W ——电容器贮存的能量, 焦耳;

V ——电容器的体积, 厘米³。

在评价工频及中频用的大无功功率电容器时, 通常用比无功功率。

$$\text{比无功功率} = \frac{P_{\pi}}{V} \text{ 乏/厘米}^3$$

式中 P_{π} ——电容器的无功功率, 乏;

V ——电容器的体积, 厘米³。

在评价电解电容器时, 通常用比电荷。

$$\text{比电荷} = \frac{Q}{V} \text{ 微库/厘米}^3$$

式中 Q ——电容器储存的电荷, 微库;

V ——电容器的体积, 厘米³。

在设计电容器时, 应该在确保其电性能的情况下, 尽量缩小体积, 减轻重量, 降低成本。电容器的比特性是表征电容器性能的指标之一。

温度特性

temperature characteristic

电容器的温度特性通常是指电容器的电参数如电容量、损耗角正切、绝缘电阻等随温度而变化的性质。通常可用有关的公式和温度特性曲线来表示。一般来说, 电容器电参数随温度变化愈小愈好。

频率特性

frequency characteristic

电容器的频率特性通常是指电容器的电参数(如电容量、损耗角正切等)随电场频率而变化的性质。通常可用有关的公式和频

率特性曲线来表示。一般来说, 电容器参数随频率变化愈小愈好。

稳定性

stability

电容器的稳定性, 是指电容器在使用和贮存过程中, 在外界因素(如温度、湿度、气压、频率、振动、冲击等)作用下, 电气参数(如电容量、损耗、绝缘电阻、击穿电压等)偏离原始值的程度。一般地说, 偏离程度愈小, 说明电容器的稳定性愈高。

可燃性

flammability

电容器与火焰直接接触一定时间后, 移去火焰, 电容器自熄的能力, 称为电容器的可燃性, 也称自熄性。通常, 以自熄的时间来衡量电容器的可燃性好坏。

二、有机介质电容器

有机介质电容器

organic dielectric capacitor

用电容器纸或合成有机薄膜为介质材料制成的电容器称有机介质电容器。这类电容器多是卷绕式结构, 其电极有金属箔电极和金属化电极两种。

有机介质电容器的主要特点是: 由于膜的厚度可以做得很薄, 易于卷绕, 所以这种电容器的电容量和工作电压范围很宽。有机介质材料大多是合成的高分子聚合物, 原料丰富, 品种繁多, 有利于有机介质电容器的发展。与无机介质电容器比较, 其主要弱点是: 有机介质易于老化, 电容器的性能会逐渐降低; 有机介质的热膨胀系数较大, 电容器的稳定性较差; 有机介质的耐热性差, 电容器的工作温度上限受到限制。

有机介质电容器按照所用介质材料分为非极性和极性有机介质电容器两大类。非极性的有机介质电容器有聚乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯、聚丙烯电容器等; 极性有机介

质电容器有纸介电容器, 聚对苯二甲酸乙二酯、聚碳酸酯、聚酰亚胺、聚枫电容器等。

聚乙烯电容器

polyethylene capacitor

它是以非极性的聚乙烯薄膜为介质制成的电容器。其电性能和耐热性基本上与聚苯乙烯电容器相似。但电容量稳定性较差, 电容量温度系数约为 $(-200 \sim -400) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。电容量精度只有 $\pm 2\%$ 。由于聚乙烯耐热性和机械稳定性难以满足一定的要求, 机械强度较低, 因此难以制成薄而均匀的膜, 这就限制了此电容器的发展。

聚苯乙烯电容器

polystyrene capacitor

它是以非极性的聚苯乙烯薄膜为介质制成的电容器。这种电容器的电性能优良, 绝缘电阻很高, 介质损耗低, 介质吸收小, 电参数随温度和频率的变化很小, 电容量温度系数约为 $+100 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 电容量精度高, 最高可达 $\pm 0.05\%$ 。因此, 聚苯乙烯电容器

可在高频下使用,并可部分地代替云母电容器。但这种电容器的工作温度不高,上限为 $+70\sim+75^{\circ}\text{C}$ 。

聚苯乙烯薄膜是一种热塑性的定向薄膜,卷绕成电容器后,可依靠其自身的热收缩,以排除层间气隙,一般不需要外壳封装,只有高精度高稳定的产品才进行灌注密封,或用金属、塑料外壳封装。

这种电容器分箔式和金属化两种。金属化聚苯乙烯电容器还可以做成迭片形式,以适应印制电路等的需要。

聚苯乙烯电容器是目前广泛应用的一种非极性有机介质电容器。

聚四氟乙烯电容器

polytetrafluoroethylene capacitor

聚四氟乙烯电容器是以非极性的聚四氟乙烯薄膜为介质制成的。这种电容器的主要特点是:电性能优异,损耗小,绝缘电阻高,电参数的温度、频率特性十分稳定,耐化学腐蚀性极好,吸湿性极低。尤其突出的是它的耐热性很高,工作温度上限可达 $+250^{\circ}\text{C}$,这一点在非极性有机介质电容器中是十分难得的,同时,低温下不发脆,可在液氮的负温下使用,因此工作温度范围很宽。缺点是耐电晕性差。

此外,聚四氟乙烯成膜工艺复杂,成本高,所以这种电容器一般只适宜在高温高频等要求较高的场合下使用。

聚四氟乙烯电容器有箔式和金属化两种。

金属化聚四氟乙烯电容器

metallized polytetrafluoroethylene capacitor

金属化聚四氟乙烯电容器是用金属化的聚四氟乙烯薄膜制作的电容器。聚四氟乙烯薄膜,由于结构上的特点,必须对薄膜表面先进行处理再金属化,金属膜才具有良好的附着力。金属化聚四氟乙烯电容器也具有自

愈特性,体积小,电性能优良,可长期在 $+200^{\circ}\text{C}$ 下工作。

聚丙烯电容器

polypropylene capacitor

聚丙烯电容器是以非极性的聚丙烯薄膜为介质制成的,有箔式和金属化两种。它的电性能优良,基本上与聚苯乙烯电容器相似,但由于聚丙烯的绝缘强度比聚苯乙烯高,所以比电容大;电容量温度稳定性比聚苯乙烯电容器稍差。这种电容器的耐热性较好,能耐 $+100^{\circ}\text{C}$ 以上的温度。

聚丙烯薄膜常与电容器纸复合制成复合介质电容器。

聚对苯二甲酸乙二酯电容器

polyethylene terephthalate capacitor

聚对苯二甲酸乙二酯电容器简称聚酯电容器,也叫涤纶电容器。它是以极性的聚对苯二甲酸乙二酯薄膜为介质制成的,有箔式和金属化两种。

聚酯电容器的电容量和电压范围很宽,电容量可从一百微微法到几百微法,电压可由几十伏到上万伏,因此既有小型低压电容器,又有高压大容量电容器(较适用作贮能电容器)。聚酯电容器的比电容大,耐热性好,可长期在 $+120\sim+130^{\circ}\text{C}$ 温度下工作。但它的损耗较大,电参数温度频率特性不稳定,一般不适合在高频下使用。

聚酯电容器有浸涂包封、灌注包封等半密封形式和金属外壳封装等全密封形式。

在极性有机介质电容器中,聚酯电容器产量大,应用广,可以部分地代替纸介电容器。

聚碳酸酯电容器

polycarbonate capacitor

聚碳酸酯电容器是以极性的聚碳酸酯薄膜为介质制成的。这种电容器的电性能比聚酯电容器好一些,电容量稳定性较高,损耗较小。耐热性方面与聚酯电容器相近,可在

+120~+130℃下长期工作。

这种电容器有箔式和金属化两种。

聚酰亚胺电容器

polyimide capacitor

聚酰亚胺电容器是用极性的聚酰亚胺薄膜作介质制成的。这是一种较新型的电容器，在电性能方面基本上与聚酯电容器相似。它的主要特点是耐热性很高，可长期在+250℃下工作。此外，介质薄膜可在液氮的负温下保持柔软性，所以工作温度下限很低，并且耐辐射，耐燃烧。因此聚酰亚胺电容器可以满足高温、低温、辐射等环境条件下工作的要求。

聚砷电容器

polysulphone capacitor

它是以极性的聚砷薄膜为介质制成的电容器。有箔式和金属化两种。聚砷电容器电性能良好，耐热性高，工作温度范围较宽，可在-50~+150℃范围内可靠地工作。此外，它的化学稳定性较好，但吸湿性较大，为0.2%，因此最好采用全密封结构。这种电容器可作为高温电容器使用。

漆膜电容器

lacquer film capacitor

漆膜电容器是小型化的有机介质电容器。它以很薄的漆膜作介质（最薄达1.2微米），用蒸发金属膜作电极。特点是体积小，性能好，适于制作低压大容量电容器。

漆膜电容器有两种主要结构形式：剥离载体型和非剥离载体型（保留载体型）。剥离型是将漆涂在载体上，蒸发上金属电极，然后在卷绕前或卷绕时，从载体上剥离下来卷成电容器。非剥离型是连同载体、漆膜、蒸发电极一齐绕成电容器。常用的载体是电容器纸和塑料薄膜。采用铝箔作载体的非剥离型结构，铝箔既作载体又作电极。

剥离型漆膜电容器体积小，但工艺复杂。非剥离型工艺较容易，但体积大。从发展来

看，非剥离型正逐渐为剥离型所取代。

漆膜材料可采用聚苯乙烯、醋酸纤维素、聚碳酸酯、聚四氟乙烯、聚对二甲苯、聚异氰酸酯等。使用较普遍的是醋酸纤维素和聚碳酸酯。

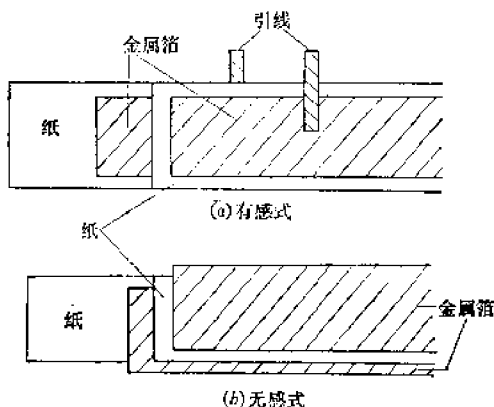
纸介电容器

paper dielectric capacitor

纸介电容器是以电容器纸作介质，铝箔作电极的卷绕式电容器，有密封和半密封两种结构。

纸介电容器的特点是：电容量和工作电压范围很宽，工艺简单，成本低。但电容量精度不易控制，损耗较大，温度频率特性稳定性较差，并且一般电容器的电感量大，通常不适合在高频下使用。

纸介电容器分有感和无感两种绕法。有感式如图a所示，这样绕成的芯子实际上是一个有很多圈数的带状线圈，因此电感较大。无感式如图b所示，是将电极箔分别向纸的两边错开，使箔带的侧边伸出纸带外边，卷绕成圆柱形芯子后焊上引线。这样就使电极箔各圈间相互短接，所以电感很小。这种电容器可在较高的频率下使用。



纸介电容器结构示意图

金属化纸介电容器

metallized paper capacitor

金属化纸介电容器是用金属化纸制成的电容器。其电极不用金属箔，而是用真空蒸

发的方法在电容器纸上沉积一层极薄的金属膜做成。它的分类与纸介电容器相同。

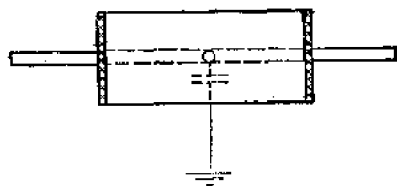
金属化纸介电容器的主要特点是：具有自愈作用，比电容比同类纸介电容器的大。

穿心式纸介电容器

feed-through paper capacitor

穿心式纸介电容器的结构特点是在电容器芯子中间有一根铜轴穿过。铜轴的直径取决于通过它的电流强度。电容器一个电极与铜轴相接，另一个电极与外壳相接，在线路中外壳接地。其结构如图所示。

这种电容器比一般纸介电容器电感量小。它主要用于抑制无线电干扰。



穿心式纸介电容器

复合介质电容器

composite dielectric capacitor

复合介质电容器的介质是用不同材料组合在一起制成的。在电容器制造中，已采用的复合介质有：极性薄膜与电容器纸组合，非极性薄膜与电容器纸组合和极性薄膜与非极性薄膜组合等。采用前两种复合介质的目的是为了提提高电容器的绝缘强度，而采用后一种则可以降低电容器的电容量温度系数。

与电容器纸组合的极性薄膜，常用的有聚酯薄膜和聚碳酸酯薄膜等。用聚酯薄膜与电容器纸组合的复合介质所制造的电容器，除了体积小外，还有较好的耐湿性。与纸介电容器比较，复合介质电容器的高温时间常数大，寿命更长。与薄膜电容器比较，在较高温度下，复合介质电容器的损耗较小，电晕电压较高。

与电容器纸组合的非极性薄膜，常用的

有聚苯乙烯薄膜和聚丙烯薄膜等。电容器纸-聚苯乙烯电容器，比聚苯乙烯电容器易于浸渍，其绝缘强度和耐热性都有提高，电容量温度系数也有所改善。如果将聚苯乙烯薄膜换成聚丙烯薄膜，则不仅可以提高电容器的击穿电压和耐热性，而且还可以降低成本。

双面金属化纸-塑料薄膜电容器

double-sided metallized paper-plastic film capacitor

双面金属化纸-塑料薄膜电容器是将双面金属化纸和塑料薄膜交替迭罗，卷绕成芯子，端头喷上金属，将电容器纸两面的金属膜电极连起来，焊上引线封入外壳而构成的电容器。塑料薄膜一般采用聚酯、聚丙烯或聚碳酸酯等。电容器纸纯粹作为再生电极的载体，塑料薄膜作为电容器的介质，即只有塑料薄膜承受电场的作用。这样就会充分发挥塑料薄膜损耗小、绝缘强度高的特点。

这种电容器由于金属膜紧密地附在纸的表面，自愈能力强，电压稳定性高。与蒸发到塑料薄膜上的金属膜相比，蒸发到纸上的金属膜接触要可靠些，而且短时高温不影响金属膜形状，这样就可以承受较高的电流负荷。由于塑料薄膜没有金属化，即使塑料薄膜上存在斑点、针孔等缺陷，也不会因金属化而产生短路，因而工作场强高于塑料薄膜金属化的电容器。另外，因为金属膜在纸上，自愈时，纸的破坏代替了部分塑料薄膜的破坏，从而提高了塑料的再击穿强度和电压稳定性。因此，这种电容器具有体积小、损耗小、工作电压高和电流负载大的特点。

陶瓷-有机材料混合薄膜电容器

ceramic-loaded plastic dielectric capacitor

有机合成薄膜具有绝缘强度高、损耗小和体积电阻率高等优点，但介电常数小，因而电容器的比电容小。而有些陶瓷类材料具

有很高的介电常数。因此,将二者结合起来,使电容器既具有有机薄膜的优良的电性能和简便的工艺性能,又具有较大的比电容。现用的有机合成材料是聚碳酸酯、聚砒、醋酸纤维素等;陶瓷材料是钛酸锶、钛酸钡等;溶剂是丙酮、三氯甲烷等。制造方法是先将陶瓷制成柠檬酸活性络合物(这样有利于控制粒子的大小),然后制成填料-树脂-溶剂的混合物(使陶瓷材料均匀地分布于有机合成材料中),通过专用设备浇铸成膜。用这种方法制成的薄膜与有机合成膜相比,介电常数有较大的提高,但体积电阻率和绝缘强度较差。

聚对二甲苯薄膜电容器

polyparaxylene film capacitor

这种薄膜电容器是由辉光放电法或汽相法使二甲苯在导电基片表面缩聚成聚对二甲苯薄膜而制得,也可用真空蒸发法制取。它是一种非极性有机薄膜电容器,电性能优良,介质损耗低,约在 10^{-4} 左右,介电常数为2.63,与聚苯乙烯电容器相似。这种电容器属于耐高温电容器,但薄膜在空气中在约 $+100^{\circ}\text{C}$ 下易于氧化,因此需要密封,密封型电容器可在 $+200^{\circ}\text{C}$ 下稳定地工作。

这种材料除直接用作薄膜电路电容器介质外,还可做成一般分立元件电容器,用作混合集成电路的外贴元件等。

贮能电容器

energy-storage capacitor

贮能电容器是可大量积聚电能,并在瞬时放出,从而获得短时大能量的一种电容器。它可用于激光、焊接、摄影等场合。

贮能电容器所贮存的能量为

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

式中 W ——贮存能量,焦耳;

U ——工作电压,伏;

C ——电容量,法。

从上式可看出,为了提高贮能电容器贮积的能量,通常采用加大电容量和提高工作电压的方法,因此一般贮能电容器都是高压大容量电容器。

贮能电容器的一个主要指标是比能量,即单位体积所贮存的能量,一般用焦耳/厘米³表示。比能量愈大,贮能电容器质量愈好。

纸介电容器、金属化纸介电容器、复合介质电容器、双面金属化纸-塑料薄膜电容器等都可作贮能电容器。

非极性有机电介质

non-polar organic dielectric

有机电介质可以分成非极性和极性两大类。非极性有机电介质是由分子中正负电荷中心基本重合,分子或分子链节的偶极矩为零或很小的非极性分子所组成。这种电介质的介电常数或介质损耗都比较小,介电常数一般在2~2.5的范围内,介质损耗角正切一般在 10^{-4} 左右,并且随温度和频率的变化很小,故温度频率特性稳定,可以用作为高频介质材料。用来制造电容器的非极性有机电介质有聚乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯、聚丙烯等。

极性有机电介质

polar organic dielectric

极性有机电介质是由极性分子所组成,分子或分子链节具有一定的偶极矩。它的介电常数和介质损耗均较非极性电介质为大,介电常数一般在2.5以上,介质损耗角正切一般在 10^{-3} 或 10^{-2} 以上,并且随温度和频率的变化较大,所以温度频率特性不及非极性电介质稳定。用来制造电容器的极性有机电介质有电容器纸、聚对苯二甲酸乙二酯、聚碳酸酯、聚酰亚胺、聚砒等。

聚乙烯薄膜

polyethylene film

聚乙烯薄膜一般由吹塑拉伸法制取。按照制造方法的不同有高压、中压和低压聚乙

烯三种。其中中压聚乙烯机械强度和耐热性等是三者中最好的,作电容器介质材料以它最为适宜。

聚乙烯是一种典型的非极性电介质,电性能优良,介电常数约为2.3,介质损耗角正切约为 $2\sim 3\times 10^{-4}$,并且一般随温度和频率的变化很小,体积电阻率为 10^{18} 欧姆·厘米。因此,它是一种优良的高频材料。此外,聚乙烯薄膜柔软而富于弹性,耐弯曲耐冲击。

聚乙烯的缺点是工作温度上限仅为 $+70\sim +90^{\circ}\text{C}$,机械强度较低,一般较难制成厚度薄而均匀的薄膜。

聚苯乙烯薄膜

polystyrene film

聚苯乙烯薄膜一般是用挤出拉伸法制取的一种定向薄膜,厚度可小于 $8\sim 10$ 微米。它是非极性电介质,具有优良的电性能。在室温和频率50赫 \sim 1兆赫范围内,介电常数为2.5 \sim 2.6,介质损耗角正切为 $2\sim 3\times 10^{-4}$,体积电阻率极大,可达 $10^{19}\sim 10^{20}$ 欧姆·厘米,特别是介电常数和介质损耗很少受频率和温度的影响,因此常用于高频和超高频技术中。聚苯乙烯化学稳定性良好,吸水性非常小,约为0.03%,但其性能对潮气的作用比较敏感。

聚苯乙烯的缺点是性脆,尤其是耐热性较差,最高工作温度为 $+70\sim +85^{\circ}\text{C}$ 。为了提高聚苯乙烯的耐热性,同时又要保持其优良的电性能,除了制造分子量较大的聚苯乙烯外,通常使苯乙烯与其它单体共聚,如苯乙烯与2,4-二甲基苯乙烯,苯乙烯与 α -甲基苯乙烯共聚。这些共聚物的耐热性有所提高。

聚四氟乙烯薄膜

polytetrafluoroethylene film

聚四氟乙烯薄膜一般是用车削碾压法制成,厚度可达6微米。用乳胶流延法可制出 $4\sim 10$ 微米的薄膜。也有用辉光放电法制成1微米的薄膜。

聚四氟乙烯是典型的非极性聚合物,具有优异的电性能,在室温下介电常数约为2,介质损耗角正切约为 $(1\sim 2)\times 10^{-4}$,在宽广的温度、频率范围内基本不变或变化很小,体积电阻率约在 $10^{18}\sim 10^{17}$ 欧姆·厘米以上。更突出的是聚四氟乙烯耐热性极好,可在 $+200\sim +250^{\circ}\text{C}$ 下长期工作,在 $+300^{\circ}\text{C}$ 下可短期使用,这在非极性机电介质中是很难得的。聚四氟乙烯耐寒性也极佳,可在液氮的负温下使用。它的化学稳定性极好,几乎不吸湿。

聚四氟乙烯耐电晕性差。尤其是在高温直到分解温度也不会变成液体而具有流动性,并且在 $+300^{\circ}\text{C}$ 下几乎不能溶于一切有机溶剂,因此成膜工艺复杂,成本高。

聚丙烯薄膜

polypropylene film

聚丙烯一般有无规聚丙烯和等规聚丙烯两种。用作电容器介质的是等规聚丙烯薄膜。这种材料结构规整,结晶度高,因此机械性能和耐热性良好。其机械性能比聚乙烯好,熔点为 $+164\sim +170^{\circ}\text{C}$,能耐 $+100^{\circ}\text{C}$ 以上的温度。它是一种非极性电介质,与聚乙烯相似,电性能优良,室温工频时介电常数约为2.16,介质损耗角正切约为 3×10^{-4} ,并且温度频率特性稳定。

聚对苯二甲酸乙二酯薄膜

polyethylene terephthalate film

聚对苯二甲酸乙二酯薄膜,简称聚酯薄膜,又叫涤纶薄膜,一般是先将聚对苯二甲酸乙二酯挤压成片,再经双向拉伸而制成。

聚酯的机械强度很高,成膜容易,用一般的方法就能制成厚度很薄的薄膜,薄膜的抗张强度达1700公斤/厘米²,这是它作为电容器介质十分突出的优点,并且薄膜易于金属化。它的耐热性好,可长期在 $+120\sim +130^{\circ}\text{C}$ 下工作,短时间可以达到 $+150\sim +175^{\circ}\text{C}$ 。在 -60°C 时不发脆,因此可以用于较低的温度。

聚酯薄膜是一种极性电介质, 室温、50 赫时介电常数为 2.96, 介质损耗角正切为 2×10^{-3} , 100 千赫时介电常数为 280, 介质损耗角正切为 1.4×10^{-2} , 因此不但损耗较大, 并且随温度频率变化也较大, 一般不适宜用在高频。但其绝缘强度和体积电阻率较大。

聚碳酸酯薄膜

polycarbonate film

聚碳酸酯薄膜可用溶液流延等方法制成, 厚度可达 2 微米。它是一种极性电介质, 室温下介电常数为 3, 在 50 赫~1 兆赫频率范围内稍有下降; 介质损耗角正切在低频时约为 1×10^{-3} , 在兆赫以上频率时约增加一个数量级。其电性能不稳定, 但总起来说胜于聚酯薄膜。聚碳酸酯薄膜耐热性很好, 可长期在 $+120 \sim +130^\circ\text{C}$ 或更高的温度下工作。它的机械性能优良, 抗张强度大, 冲击强度高, 容易成膜且可做得很薄, 易于金属化, 因此广泛用作电容器介质。

聚酰亚胺薄膜

polyimide film

聚酰亚胺薄膜是聚均苯四甲酰亚胺薄膜的简称, 又叫 H-薄膜, 是一种较新的耐高温材料。

这种材料具有极好的耐热性, 可长期在 $+250^\circ\text{C}$ 下工作, 在 $+400^\circ\text{C}$ 下可短时间使用; 在液氮的负温下能保持柔软性, 因此工作温度范围很宽。它耐辐射, 不燃烧。它的吸湿性较大, 约为 (1~3)%。聚酰亚胺是一种极性电介质, 在 $+25^\circ\text{C}$ 、1 千赫时介电常数为 3.5, 介质损耗角正切为 3×10^{-3} 或更大一些, 在 $+200^\circ\text{C}$ 以下介质损耗增加的不多, 但在 $+200^\circ\text{C}$ 以上增加的很快, 因此电性能不够稳定。聚酰亚胺机械强度高, 介质损耗较小, 可用来制造耐热电容器。

聚硫薄膜

polysulphone film

它是一种新型的极性电介质材料。其主

要特点是耐热性好, 工作温度范围宽, 可在 $-55 \sim +150^\circ\text{C}$ 范围内使用, 机械性能好, 成膜容易, 适用作耐热电容器的介质材料。它的吸湿性略大, 约为 0.2%; 介电常数在室温、50 赫~1 兆赫时为 3.1~3.0; 介质损耗角正切在室温、1 千赫时为 1×10^{-3} , 1 兆赫时上升为 3×10^{-3} , -50°C 、1 千赫时为 4×10^{-3} , 温度频率特性不够稳定。

电容器纸

capacitor paper

电容器纸用于制造各种类型的纸介电容器和复合介质电容器。它是由木浆或亚麻等植物纤维所制成, 它的结构基础是高分子化合物纤维素。

电容器纸制造历史较长, 制造工艺和质量比较成熟, 它的工艺和质量要求都有别于普通纸。

电容器纸按密度可分为两种, 一种是高密度, 即 1.2克/厘米^3 左右, 主要用作直流纸介电容器。一种为低密度, 即 1克/厘米^3 左右, 主要用作交流纸介电容器。

电容器纸是纤维素构成, 具有多孔性, 一般含有 20~35% (体积) 的空气和 5~7% (重量) 的水分。因此, 在它制造电容器时, 必须进行干燥和浸渍, 去除水分, 用介电常数和绝缘强度高于空气的液体或固体介质填充, 以提高其介电常数、绝缘强度和绝缘电阻。

乙基纤维素

ethyl cellulose

乙基纤维素是由氯乙烷和碱纤维素化合而成, 是白色稍带微黄色或灰白色的硬颗粒, 不允许结成团块。

乙基纤维素是一种极性电介质。体积电阻率为 $10^{13} \sim 10^{16}$ 欧姆·厘米, 受潮时略有变化, 但仍能保持其良好的电气绝缘性能。温度对乙基纤维素的影响很明显, 当温度超过 $+100^\circ\text{C}$ 时, 体积电阻率急剧下降。乙基纤维

素的介质损耗角正切在工频下为 $1\sim 5\times 10^{-3}$ ，当温度超过 $+100^{\circ}\text{C}$ 时，由于漏电损耗的增加而使损耗角正切急剧上升。乙基纤维素具有很高的绝缘强度，约为130千伏/毫米。

在金属化纸制造中，乙基纤维素是电容器纸预涂漆常采用的一种材料。

另外，当乙基纤维素加入不同的蜡状物质中，如加入纯地蜡、石蜡等材料中时，除能够显著地提高这些蜡状物质的熔点外，还能保持良好的电气绝缘性能。

氰乙基纤维素

cyanoethyl cellulose

氰乙基纤维素是纤维素醚的一种，为白色纤维状或粉末状固体。高取代度的氰乙基纤维素含氮量一般为 $12.5\sim 12.8\%$ ，是一种强极性电介质，介质损耗大，温度频率稳定性差。氰乙基纤维素的主要特点是介电常数大， $+25\sim +100^{\circ}\text{C}$ 时介电常数为 $12\sim 15$ ，因此是一种高介电常数的有机材料。在高温高频下其介质损耗较小，1兆赫、 $+100\sim +125^{\circ}\text{C}$ 时介质损耗角正切为 1.5×10^{-2} ， $+25^{\circ}\text{C}$ 时体积电阻率约为 $10^{12}\sim 10^{13}$ 数量级。氰乙基纤维素具有很好的耐热性，可在 $+125^{\circ}\text{C}$ 下长期使用。

高介电常数的氰乙基纤维素可做涂覆料，也可制成薄膜、氰乙基纤维纸等用作电容器的介质材料。

电容器油

capacitor oil

电容器油是最常用的电容器浸渍材料之一。它是用变压器油经进一步纯化和除气处理而成。电容器油是一种低粘度、亮黄色的非极性透明液体。其电性能是：

介电常数 ($+20^{\circ}\text{C}$ ，1千赫
和50赫)…………… $2.1\sim 2.3$
介质损耗角正切 (100°C ，
1千赫时)…………… $<2\times 10^{-3}$

(100°C ，50千赫时)…………… $<5\times 10^{-8}$
体积电阻率 ($+20^{\circ}\text{C}$ 时)

…………… $>10^{14}$ 欧姆·厘米

($+100^{\circ}\text{C}$ 时)…………… $>10^{13}$ 欧姆·厘米

绝缘强度 (50赫， $+20^{\circ}\text{C}$)

…………… >200 千伏/厘米

在受到外界物理化学因素（如电场、高温、氧、光线等）的作用时，由于电容器油的老化，性能将逐渐变坏（例如颜色加深，粘度变大，电阻率下降，损耗增加，绝缘强度下降等）。因此，电容器油总是用于密封结构内，这样可大大延迟氧化速度。如果加入一些抗氧化剂，基本上能防止氧化，并使性能恶化的过程减缓。

电容器油的放气作用对电容器性能影响很大，因此如何防止油的放气是个值得注意的问题。

凡士林

vaseline

凡士林是固体和液体饱和烃类的混合物，是一种软膏状的非极性物质。根据来源，凡士林可分成天然和人造两种。天然凡士林是从石蜡烃石油中提出的，人造凡士林是矿物油与纯地蜡或石蜡的混合物。人造凡士林由于稳定性较差，很少用作纸介电容器的浸渍料。浸渍和灌注纸介电容器用的凡士林的电性能：介电常数为2.23，损耗角正切为 2×10^{-4} ，体积电阻率为 5×10^{14} 欧姆·厘米，绝缘强度不低于20千伏/毫米，酸值不小于0.004毫克KOH/克。当长期经受高温作用并与空气相接触时，凡士林会逐渐氧化，生成有机酸和不溶性氧化物，使电性能变坏。因此，凡士林只能用于密封结构电容器。凡士林也是电容器常用的浸渍材料之一。

纯地蜡

pure mineral wax

纯地蜡是一种固体饱和碳氢化合物 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 的混合物。分子中所含的碳原子数

n 约为 39~53。纯地蜡的熔点比地蜡的高，抗氧化性强，凝固时收缩率小，粘着性大，同时能构成具有一定弹性的薄膜（其气体渗透性和吸湿性都很小）。纯地蜡是一种最常用的固体浸渍料，常用于浸渍各种非密封的电容器和金属化纸介电容器。

纯地蜡的电性能：

介电常数……………2.1~2.3

损耗角正切（3兆赫，-40℃时）

…………… 0.2×10^{-4}

（3兆赫，+90℃时）…………… 1.8×10^{-4}

体积电阻率…………… 10^{16} 欧姆·厘米

绝缘强度……………15千伏/毫米

酸值……不大于0.28毫克KOH/克

地蜡的缺点是：从液体凝固成固体时，体积收缩率很大（达15~20%），用来浸渍电容器芯子时，将留有残余的气隙。因此，对某些电容器，电容器芯子在浸渍地蜡以后，还用凡士林再浸渍一次，以填补空隙，提高介质的绝缘电场强度。

纯地蜡工作温度上限为+70~+100℃。为了提高电容器的工作温度上限，可采用熔化温度为+125℃的合成地蜡。

有机硅油

organic silicon oil

有机硅油是常用的耐热液体浸渍料之一。作浸渍用的硅油有二甲基硅油、甲基苯基硅油和甲基乙基硅油。在电性能、热稳定性、附着力等方面，以甲基苯基硅油为最佳。有机硅油是一种非极性材料，电性能优异，具有高的耐电弧性和耐电晕能力，耐热性很好，吸湿性极小，并且油的粘度随温度的变化很小，因此它是一种优良的高温浸渍材料。但价格较贵。

聚异丁烯

polybutene

聚异丁烯是丁烯-1和异丁烯的共聚物，

是一种分子量较低的粘稠液体浸渍料。这种合成的碳氢化合物与天然的碳氢化合物如电容器油、纯地蜡等性质相似，电性能优良，吸湿性小，另稳定性高，不易氧化，因其中不含天然碳氢化合物中的一些杂质。

自愈作用

self-healing action

金属化电容器除尺寸小以外，还有一种重要的特性，即自愈作用。当金属化电容器由于电介质中存在疵点而发生击穿时，击穿处会立即产生一种电弧电流，而且电流密度集中在击穿点中心。由于金属膜很薄（0.1微米以下），该电流所产生的热量足以使击穿点附近的金属熔化蒸发，在击穿区周围形成无金属区，使击穿中心的短路电流立即中断，重新使电容器的两个极片之间绝缘，而使电容器恢复正常工作。这个过程称为金属化电容器的自愈作用。

预涂漆

preliminary lacquering

在金属化纸介电容器的制造中，一般要在纸的一面涂上一层漆（常用乙基纤维漆）这道工序叫预涂漆，在涂漆机上进行。预涂漆的作用是：（1）能使单层电容器纸的绝缘电阻显著提高；（2）能填补纸中的微小穿孔，有利于提高击穿电压；（3）漆层能保护金属化层，使它不受电容器纸中所含的少量氯化物、硫酸盐类和潮气等的电解腐蚀；（4）涂漆后的电容器纸表面均匀而光滑，有助于金属化时形成细小的金属晶粒；（5）涂漆后可以减少从电容器纸中放出吸附气体，有利于提高蒸发设备的真空度。但涂漆后，漆层与电容器纸串联，会降低介电常数，涂极性纤维漆后使电容器的损耗有所增大。

金属化

metallization

在真空中使金属蒸发，并淀积到电容器纸或其它介质的表面形成金属电极膜层，这

一工艺过程,称为金属化。

在有机介质电容器中,介质表面的金属化层应有的特点是:(1)金属层是连续的,其厚度适于获得良好的导电率并保持自愈作用;(2)金属层的厚度均匀;(3)金属层与基体附着良好;(4)所用金属短期在大气曝露中不易迅速氧化;(5)价格低廉。要达到上述要求,在很大程度上取决于选用材料的性能。在有机介质电容器制造中常用的金属化材料有锌和铝等。

芯子卷绕

winding of capacitor elements

电容器芯子是用手摇半自动或自动卷绕机将带状介质材料(例如电容器纸、有机薄膜)和电极箔卷绕而成。这是一道非常重要的工序,因为在卷绕过程中,稍不注意就会造成电容器短路、断路、电容量不合格、绝缘电阻下降以及击穿等现象。手摇卷绕机一般用于制造电容量小、圈数少的芯子。半自动或自动卷绕机适于卷绕电容量较大、圈数较多的电容器芯子。

芯子的热处理

heat treatment of capacitor elements

将有机介质电容器芯子在一定温度下加热处理称为热处理。热处理时,有机介质薄膜发生收缩,改变薄膜结构,达到芯子定型,并促使芯子各匝间隙中的空气排出,提高电容器的电性能。芯子两端的有机薄膜经热处理后,可以提高耐湿性。

热处理方法一般分大气干燥热处理或真空干燥热处理两种。热处理温度的选择很重要,如选择不适当,过高或过低,都会降低电容器的电性能,甚至使产品报废。

芯子端面喷金属

metallization of capacitor element ends

将熔融的焊料或其它金属,靠压缩空气喷射到电容器芯子的两端,形成具有一定厚度和机械强度的金属层,这个过程称为电容

器芯子端面喷金属,简称喷金。

喷金的主要作用,就是将电容器的两个电极分别引出作为焊接引出线的基础,常用于无感式电容器的制造中。

根据不同的电极材料,喷金的材料也不一样,主要有铅锡合金、铅锌合金、铝、铜等。

干燥和浸渍

drying and impregnation

电容器干燥和浸渍的目的是驱除电容器芯子内的潮气和水分,提高其绝缘电阻和耐压性能。

电容器干燥和浸渍在干燥箱和专用的真空干燥浸渍设备中进行。

干燥分大气干燥和真空干燥。大气干燥在一般的干燥箱中进行,它是真空干燥的预阶段,事先排除芯子中过多的潮气和水分,提高真空干燥速率。真空干燥是在真空下加热电容器或芯子,尽量多地排除芯子内的水分和潮气,以利于浸渍。

浸渍是在真空下,将预先干燥和加热的浸渍料(如电容器油、凡士林、地蜡等)浸入经干燥的电容器或芯子内,使浸渍材料渗入纤维材料空隙或芯子层间。有些粘度较大的浸渍料(如聚异丁烯等),可采用加压和真空循环浸渍。

电压老炼

voltage aging

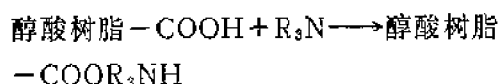
刚制成的金属化电容器芯子,往往是绝缘电阻很低,甚至有很多是短路的,这可以通过电压老炼来消除介质中的导电微粒和弱点,即让电容器芯子经受多次正负极改变的直流电压的冲击,以烧去导电或半导体微粒。这种处理方法称为电压老炼或赋能。电压老炼可分二次进行:第一次为预老炼,或称预赋能,所用电压较低,一般低于额定电压,先烧去介质中的导电微粒;第二次为再老炼,或称赋能,所用电压较高,一般是额定电压

的1.2~1.5倍,以烧去介质中的半导体微粒。从而提高了电容器的绝缘电阻。

电泳涂漆

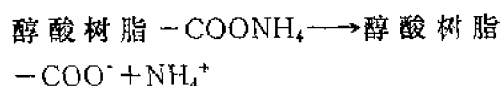
electrophoretic coating

电泳涂漆是用一种水溶性的树脂,一般是用高酸值带有酸基的树脂(例如醇酸树脂)与氨中和成盐,即



然后溶解于水。当直流电通过时生成一个带负电荷的高分子基团和一个带正电荷氨

基,即



阴离子醇酸树脂 $-\text{COO}^-$ 向阳极(被涂物件)移动,在阳极表面放电后而沉积于阳极上,阳离子 NH_4^+ 向阴极移动,并在阴极获得电子还原成胺。这就是电泳涂漆的原理。

电泳涂漆能达到喷漆所不能达到的效果,漆膜厚度均匀,棱角和边缘部分上漆一致,有利于生产连续化和流水线操作。

三、陶瓷、云母、玻璃和玻璃釉介电容器

瓷介电容器

ceramic capacitor

以陶瓷为介质的电容器通称瓷介电容器,又称陶瓷电容器。由于原材料丰富,结构简单,价格低廉,而且电容量范围较宽(一般由几个微微法到几个微法),损耗较小,电容量温度系数可根据要求在很大范围内调整,因此瓷介电容器被广泛应用在电子设备中。

瓷介电容器品种繁多,外形尺寸相差甚大。按使用的介质材料特性可分为I型、II型和半导体瓷介电容器;按无功功率大小可分为低功率和高功率瓷介电容器;按工作电压可分为低压和高压瓷介电容器;按结构形状可分为圆片形、管形、鼓形、瓶形、筒形、板形、迭片、独石、块状、支柱式、穿心式等。

瓷介电容器的一般制造工艺流程是:

备料——成型——烧结——被覆电极——烧渗电极——装配——涂保护层——参数测试——标志——包装入库。

陶瓷电容器

ceramic capacitor

即“瓷介电容器”。

I型瓷介电容器

type I ceramic capacitor

I型瓷介电容器,旧称高频瓷介电容器,

是指用介质损耗小、绝缘电阻高、介电常数随温度呈线性变化的陶瓷介质制造的电容器。它特别适用于谐振回路,以及其它要求损耗小和电容量稳定的电路,或用于温度补偿。电容量温度系数组别见表。结构形式有圆片形、管形、迭片式、块状、穿心式、支柱式等。

组别号	标称温度系数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	组别号	标称温度系数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
A	+120	J	-330
U	+33	I	-470
O	0	H	-750
K	-33	L	-1300
Q	-47	Z	-2200
B	-75	G	-3300
D	-150	R	-4700
N	-220	W	-5600

高频瓷介电容器

high-frequency ceramic capacitor

即“I型瓷介电容器”。

温度补偿瓷介电容器

temperature compensation ceramic capacitor

指电容量温度系数为负值的瓷介电容器。

II型瓷介电容器

type II ceramic capacitor

II型瓷介电容器旧名为低频瓷介电容器。

器,指用铁电陶瓷作介质的电容器,因此也称铁电陶瓷电容器。这类电容器的比电容大,电容量随温度呈非线性变化,损耗较大,常在电子设备中用于旁路、耦合或用于其它对损耗和电容量稳定性要求不高的电路中。常用电容量温度特性组别见表。

组别代号	正负极限温度下的电容量相对于 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时的电容量的变化不大于
S	-20%
T	-40%
C	-65%
V	-90%

结构形式有圆片形、管形、鼓形、迭片式、独石状、块状、穿心式、支柱式等。

低频瓷介电容器

low frequency ceramic capacitor

即“Ⅰ型瓷介电容器”。

铁电陶瓷电容器

ferroelectric ceramic capacitor

即“Ⅰ型瓷介电容器”。

高功率瓷介电容器

power ceramic capacitor

指额定无功功率高于200伏安的瓷介电容器。它用耐压高、损耗小的陶瓷作介质,结构有瓶形、管形、鼓形、板形等多种结构形式。在大功率的电子和电气设备中用作槽路或耦合电容器。

高压瓷介电容器

high voltage ceramic capacitor

指额定直流工作电压不低于1000伏,而对无功功率不规定要求的瓷介电容器。

低压瓷介电容器

low voltage ceramic capacitor

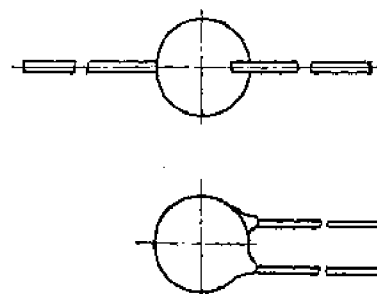
指额定直流工作电压低于1000伏的瓷介电容器。

圆片形瓷介电容器

disc ceramic capacitor

通常指额定直流工作电压不大于500伏

的低压圆片形瓷介电容器。它是瓷介电容器中产量最大的一种。主要采用单片式结构,引出线形式如图所示。圆片直径为4, 6, 8, 10, 12, 14或16毫米。由于结构简单,



圆片形瓷介电容器

便于自动化生产,因而产量高,成本低。

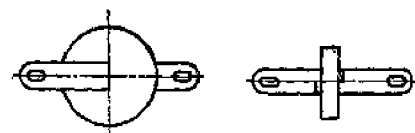
根据材料和用途,这种电容器分为Ⅰ型和Ⅱ型圆片形瓷介电容器两种。其主要性能见表。

类型	工作环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)	额定直流工作电压 (伏)	电容量范围 (微微法)
Ⅰ	-55~+85	160, 250, 500	1~430
	-55~+125		
	-55~+155		
Ⅱ	-55~+85	63, 160, 250	330~47000
	-40~+85		

圆片形超高频瓷介电容器

UHF disc ceramic capacitor

这种电容器的结构特点是采用扁而短的引出片,以减少电感,提高电容器的自身谐振频率。它可以使用在工作频率达500兆赫以上的超短波电子设备中。其外形结构常见的有两种(见图)。

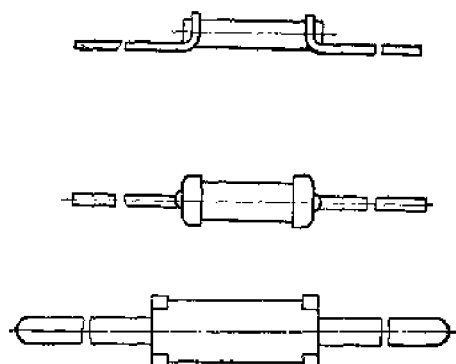


圆片形超高频瓷介电容器

管形瓷介电容器

tubular ceramic capacitor

它是一种常用的低压瓷介电容器,引出线形式有三种,如图所示。



管形瓷介电容器引出形式示意图

电容器外径为 4, 5 或 7 毫米, 长度为 10, 12, 16, 20 或 30 毫米。

这种电容器根据材料和用途分为 I 型和 II 型。其主要性能见表。

类型	工作环境温度 (°C)	额定直流工作电压 (伏)	电容量范围 (微微法)
I	-55~+85	160, 250, 500	1~1000
	-55~+125		
	-55~+150		
II	-55~+85	160	470~6800

密封管形瓷介电容器

器并联焊接, 密封在陶瓷套管内。

迭片瓷介电容器

stacked ceramic capacitor

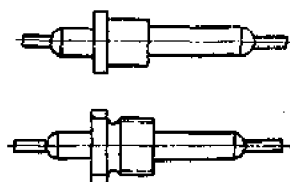
为了提高比电容, 将几个具有一定电容量的被银瓷片并联迭合在一起, 构成迭片瓷介电容器。这种电容器按结构和工艺有两种不同形式: 一种是将被银瓷片并联焊在一起, 表面涂磁漆或树脂, 外形结构如图所示; 另一种是将被银瓷片用包封釉料迭合粘结, 经焙烧后磨掉两端面釉层, 被银, 并焊接引出线。其外形为长方形, 引出形式为单向引出。

按所用介质分 I 型和 II 型。它们的主要技术指标见表。

类型	迭合形式	工作环境温度 (°C)	额定直流工作电压 (伏)	电容量范围 (微微法)
I	釉料迭合	-55~+125	250	82~3600
	焊料迭合	-55~+85	100, 160	33~1800
II	釉料迭合	-55~+125	160	1000~47000
	焊接迭合	-55~+85	100, 160	1500~47000

这种电容器的缺点是工艺复杂, 生产效率低, 成本高。

穿心式瓷介电容器

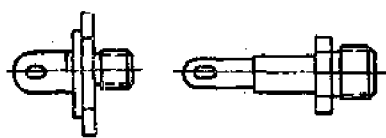


穿心式瓷介电容器

支柱式瓷介电容器

post ceramic capacitor

它是另一种形式的旁路电容器。按结构分有片形支柱式和管形支柱式瓷介电容器两种。外形结构如图所示。



支柱式瓷介电容器

a—管开支柱式；b—片形支柱式。

性能与穿心式瓷介电容器类似。I型额定直流工作电压为500伏，电容量范围为22~330微微法。II型额定直流工作电压250伏，容量范围为470~4700微微法。

圆片形高压瓷介电容器

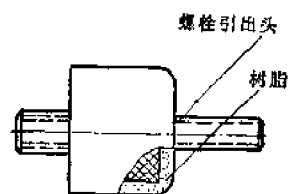
high-voltage disc ceramic capacitor

这种电容器在结构上与圆片瓷介电容器相似，不同处是圆片直径较大，厚度较厚，两电极间绝缘边较宽。圆片直径有8, 10, 12, 16, 20, 24毫米等，额定直流工作电压可达6.3千伏。I型的电容量范围为1~270微微法，使用环境温度为-55~+125℃。II型的电容量范围为330~22000微微法，使用环境温度为-40~+85℃。

鼓形高压瓷介电容器

drum high voltage ceramic capacitor

这是一种用铁电陶瓷作介质的高压瓷介电容器。结构特点是采用金属螺栓引出头，用锦纶纤维挤塑或用环氧树脂浇铸，来提高表面放电电压。其结构如图所示。性能特点



鼓形高压瓷介电容器

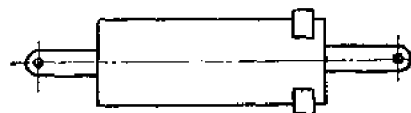
是电容量大，工作电压高。额定直流工作电压可达30千伏，电容量范围为470~10000微微法。

这种电容器主要在雷达、电视机或其它电子和电气设备中用于旁路、滤波或倍压。

管形高功率瓷介电容器

power tubular ceramic capacitor

它的结构与一般管形瓷介电容器相似，不同处是管壁较厚，管径较粗，介质边缘较大，引出头为片状。外形结构如图所示。



管形高功率瓷介电容器

瓷管直径为9或19毫米等，瓷管长度为20~60毫米。电容器用绝缘强度高、损耗小的陶瓷制造。额定直流工作电压达2.5千伏，电容量范围为15~680微微法，无功功率达1.2千伏安，额定高频工作电压达1千伏。

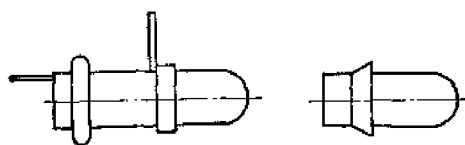
瓶形（罐形）高功率瓷介电容器

power pot ceramic capacitor

瓶形高功率瓷介电容器是高功率瓷介电容器中常见的一种。为提高表面放电电压，瓶口部分制作成裙边形凸缘。其引出形式有带引出头和不带引出头两种。外形结构如图所示。

带引出头的按其结构尺寸和规格系列有12种，外径为30~74毫米，长度为60~135毫米。电容量可达2200微微法，额定直

流工作电压达 8 千伏, 额定高频电流可达 15 安。



瓶形高功率瓷介电容器

筒形高功率瓷介电容器

cylinder power ceramic capacitor

它是一种圆筒形结构的电容器。在瓷筒的两端均有裙边状凸缘。筒长 168~235 毫米, 直径为 120 毫米。额定直流工作电压可达 30 千伏, 额定高频工作电压可达 12 千伏, 电容量范围为 1000~6800 微微法, 额定无功功率可达 80 千伏安以上, 额定高频工作电流可达 40 安。这种电容器主要用在槽路、耦合、滤波网路和馈电电路中。

板形高功率瓷介电容器

plate power ceramic capacitor

它是一种圆板形电容器。为了提高表面放电电压, 把它的绝缘边制作成卷边状凸缘。圆板的直径为 76~200 毫米。电容量范围较大, 可达 4700 微微法, 额定直流工作电压最高可达 15 千伏, 额定高频电流可达 20 安。

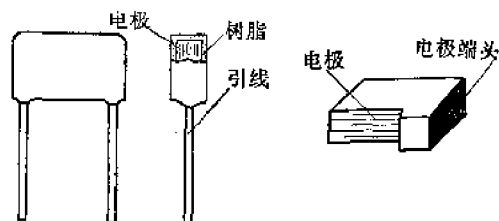
独石瓷介电容器

monolithic ceramic capacitor

这种电容器是一种新型结构的瓷介电容器。它是在生坯陶瓷薄膜上被覆电极浆料, 并将若干片迭合后一次烧成一块不可分割的整体。根据介质材料不同分 I 型和 II 型。

由于介质厚度很薄 (可达 0.1 毫米以下), 迭合紧密, 因而比一般瓷介电容器的比容大。成膜工艺通常有辗压法、流延法和喷涂法等。电极材料用金、铂、钯等贵金属材料, 以便与陶瓷材料一次烧成。也有用银或在银中加入少量贵金属作电极材料的, 在这种情况下介质材料选用低温烧结陶瓷, 以

配合银电极一次烧成。其结构形式, 除带有引线并且用树脂包封的外, 还有一种不带引线也不包封的裸体块状独石电容器。后者又叫块状电容器, 通常用作厚薄膜混合集成电路的外贴元件。它们的结构如图所示。



独石瓷介电容器

独石电容器具有体积小、可靠性高、耐湿性好等优点。

块状瓷介电容器

block ceramic capacitor

见“独石瓷介电容器”。

半导体陶瓷电容器

semiconductor ceramic capacitor

这种电容器的主要特点是体积小, 电容量大。它们的基本原理, 是以含钛的半导体陶瓷为载体, 在其上以各种不同方法形成很薄的介质层, 以获得比容很大的电容器。目前这类电容器有阻挡层陶瓷电容器、还原氧化型陶瓷电容器、边界层陶瓷电容器等。

阻挡层电容器

barrier layer capacitor

当半导体陶瓷 (BaTiO_3) 与金属接触时, 其接触表面会产生一个阻挡层。由于半导体陶瓷和金属的电子逸出功不同, 因而在接触表面上, 电子由金属向半导体跃迁是容易的, 而反过来则是困难的。由于这个单向势垒的存在, 使阻挡层不仅具有单向导电的特性, 而且在反向电压下, 阻挡层会起介质作用。如在半导体两面构成阻挡层, 就形成单向导电特性互相抵消、电容量相当大的阻挡层电容器。

这种电容器突出的优点是比容很大

(可达 $0.2 \sim 0.5$ 微法/厘米²), 但击穿电压和绝缘电阻都不高, 介质损耗也较大。

还原氧化型陶瓷电容器

reduction-oxidation ceramic capacitor

用加有稀土氧化物(如三氧化二镧)的陶瓷(如钛酸钡)在还原气氛中烧成半导体陶瓷, 再使表面氧化就可形成绝缘层。还原氧化型陶瓷电容器就是利用它作为介质而制成的电容器。绝缘层的厚度取决于再氧化的程度。这种电容器的工作电压可达 25 伏, 比容可达 $0.06 \sim 0.1$ 微法/厘米²。

边界层陶瓷电容器

boundary layer capacitor

边界层陶瓷电容器的电介质形成工艺, 主要是把瓷坯在还原气氛中烧成半导体陶瓷, 然后在表面上涂以氧化铋(Bi_2O_3)、氧化铜(CuO)、二氧化锰(MnO_2)等金属氧化物, 在 $+950 \sim +1250^\circ\text{C}$ 下热处理, 使外涂氧化物沿晶界扩散至每个半导体粒子表面, 就形成一层介质层(边界层), 其厚度一般为 $0.4 \sim 2$ 微米。这时晶粒内部仍然保持半导体性能。这种电容器视在介电常数可达 10^6 。当陶瓷厚度为 0.3 毫米时, 工作电压可达 45 伏。这种电容器具有可靠性高(由于瓷体内部空隙几乎被氧化物所填充), 比电容大, 工作频率高等优点。它可以使用在海底电缆的中继放大器中, 是一种高频旁路用高可靠性电容器。

边界层陶瓷电容器也称晶界层陶瓷电容器, 又叫粒界层陶瓷电容器。

反铁电储能陶瓷电容器

antiferroelectric energy-storage ceramic capacitor

这是一种利用反铁电体陶瓷材料作介质的储能电容器。一般认为, 电容器在单位体积内的贮能量(贮能密度)

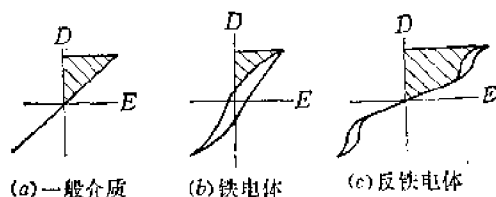
$$J = \int_0^{D_{\max}} E \cdot dD$$

式中 D ——电位移,

D_{\max} ——最大电场强度时的电位移,

E ——电场强度。

对于一般介质制成的电容器来说, 其贮能密度通常为 $D \cdot E/2$ 或小于 $D \cdot E/2$, 只有用反铁电体作介质的电容器, 其贮能密度才有可能大于 $D \cdot E/2$ 而近于 $D \cdot E$ (见图)。因此, 这是一种很有发展前途的储能电容器。目前已能制造出贮能密度达 2 焦耳/厘米³ 以上的电容器。



电位移与电场强度关系曲线

微调瓷介电容器

ceramic trimmer

它是电容量可在一定范围内调节的瓷介电容器。其特点为两个电极的重叠面积大小能在一定范围内进行调节, 从而达到改变电容量大小的目的。这类电容器有管形、圆片形、线绕型和独石型等多种型式。

微调电容器的起始电容量最小值可达 0.5 微微法, 电容量最大值可达 100 微微法。这种电容器的电容量温度系数多为负值。这种电容器体积小, 损耗低, 绝缘电阻高, 调谐方便, 因而被广泛应用于通信、电视、雷达、仪器仪表等电子设备中。

圆片形微调瓷介电容器

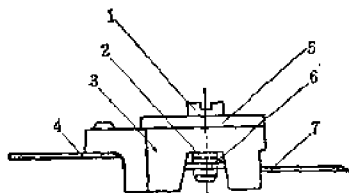
disc ceramic trimmer

这种电容器主要用于电子设备的高频回路中。它由动片、定片、转轴、弹簧片和引出片组成, 其结构如图所示。

该电容器的制造工艺比较复杂, 动片和定片的接触表面要研磨抛光, 通常定片的抛光面上烧渗成扇面形银层作下电极, 动片的

非抛光面上烧渗银层作上电极,用转轴、弹簧片等将动片、定片组装成具有一定力矩的可调结构。

电容器的动片直径有7,10,16,25毫米等,电容量规格有2/7,3/10...15/47,20/100微微法等,电容温度系数一般在 $-(0\sim 850)\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 范围内,力矩大小视动片直径而不同,其它技术指标与圆片形瓷介电容器相似。



圆片形微调瓷介电容器

1—转轴; 2—弹簧片; 3—定片; 4—引出片;
5—动片; 6—垫圈; 7—引出片。

管形微调瓷介电容器

tubular ceramic trimmer

管形微调瓷介电容器是由被银瓷管和金属附件构成。通常在瓷管一端的外表面烧渗银层作为外电极,瓷管的另一端装有金属锁紧结构,用以支持和锁紧瓷管内的螺杆状金属内电极。通过内电极在瓷管内的轴向移动,改变两电极的重迭面积,来调节电容量大小。

这种电容器的优点是起始电容量小(最小可达0.5微微法),可精密地调节电容量。

线绕微调瓷介电容器

wire-wound ceramic trimmer

这种电容器结构比较简单,在瓷管外壁密绕细金属丝作外电极,在瓷管内壁烧渗银层作内电极。改变金属丝的圈数,就可改变电容量。

它的优点是工艺简单,成本低。缺点是电容量调节只能从大到小。

独石微调瓷介电容器

monolithic ceramic trimmer

指动片电极(动片)、定片电极均采用独石结构来制作的圆片形微调瓷介电容器。由于电极埋入瓷体中,因而介质能做得很薄(达0.05毫米以下),从而能大大缩小体积,获得较大的电容量范围,可制成直径为5毫米,甚至3毫米的超小型微调电容器。

这种电容器的另一优点是环境条件变化对电容量的影响较小。动片、定片电极都采用独石结构,能避免电极与陶瓷体的摩擦,从而大大降低噪声。

喷银

silver paste spraying

喷银是陶瓷、玻璃、云母等无机介质电容器被覆电极的方法之一。其工作原理同喷漆,是用4~5个大气压的压缩空气将银浆喷射在盖有模板的介质表面。用这种方法被覆的银浆层均匀、平整,但银浆利用率较低。

丝网印银

screen printing of silver paste

丝网印刷是陶瓷电容器、云母电容器、玻璃和玻璃釉电容器等被覆银电极的方法之一。丝网上漏印浆料的图案可用光刻、贴膜等方法制得。印刷时将介质置于丝网之下,然后用橡皮刮板将银浆印刷到介质上。

这种方法的优点是效率高,节约原材料,电极形状和尺寸一致性好。

涂银

silver pastebrushing

涂银是被覆银层的方法之一。它是用涂银笔或其它工具把银浆涂到需被银的介质表面上。涂银机有管式和圆盘式等。

印银

silver pasteprinting

这种方法类似盖图章。印银“图章”的端头,一般采用易吸附银浆而且具有一定柔韧性的呢料、泡沫塑料等材料制作。

烧银

silver ink firing; silver electrode firing

烧银是烧渗银电极的俗称。涂覆在陶瓷、玻璃或云母表面上的银浆必须经过焙烧,在此过程中,银浆反应生成连续、致密并与陶瓷等表面牢固结合的金属银层。烧银设备有隧道炉和箱式炉两种。一般烧银温度为 $+500\sim+900^{\circ}\text{C}$,但云母片的烧银温度必须在 $+600^{\circ}\text{C}$ 以下(云母在 $+600^{\circ}\text{C}$ 以上要失去结晶水,使性能恶化)。

银浆

silver ink

银浆是供制作银电极的浆料。它由银或其化合物、助熔剂、粘合剂和稀释剂配制而成。按银的存在形式,可分为氧化银浆、碳酸银浆、分子银浆。按烧银温度,可分为高温银浆和低温银浆。按被覆方法,则分印刷银浆、喷涂银浆等多种。

云母电容器

mica capacitor

云母电容器是以云母作为介质,以金属箔或涂敷在云母片上的金属层作为电极的一种电容器。云母电容器具有优良的电气性能:绝缘强度高,损耗小,并且温度、频率特性稳定,电容精度比较容易达到 $\pm 1\sim 5\%$,也可以达到更高的精度。因而云母电容器是一种高稳定、高精度的电容器。

云母电容器的一般制造工艺为:云母片加工——镀银——装配电容器芯子——电容器芯子真空干燥和浸渍——封装外壳——真空干燥、浸渍和测量电气参数——打标志和检验。

云母电容器除常用于高频电路,并可作为标准电容器。

天然云母稀少,制造电容器时对云母片的质量要求很高,在剥离云母片时原材料的利用率很低,因而云母电容器成本较高。为

降低成本,有些云母电容器用合成云母和云母纸作为介质,也可用陶瓷、玻璃釉和有机介质电容器来代替云母电容器。

箔式云母电容器

stacked-foil mica capacitor

这种电容器也称大功率云母电容器。它是用金属箔和云母片相互交迭装配封入外壳制成的。电极材料常用铅锡箔。这种电容器主要用于特殊的大功率发射机上。

半密封云母电容器

partial sealed mica capacitor

这种电容器封装外壳用的材料是有机绝缘材料,例如酚醛压塑粉、环氧树脂等。由于这些材料不能长期杜绝潮气的渗入,所以称半密封云母电容器。

半密封云母电容器的电极常用烧渗法将银电极烧贴在云母片上,因此电容量稳定,体积较小,适合于在相对湿度低于80%的环境下工作。

密封云母电容器

hermetically sealed mica capacitor

这种电容器是将云母电容器芯子密封在陶瓷或金属外壳中。密封云母电容器的电性能受外界湿度和大气压力影响小,适于在高湿度和低气压条件下工作。

云母纸电容器

mica paper capacitor

云母纸电容器通常是用云母纸(单层、多层)和铝箔卷绕制成。其结构类似于有机介质电容器。云母纸是由云母粉制成的。这种电容器一般工作温度为 $-55\sim+180^{\circ}\text{C}$,有些可在更高温度下工作;在宽广的温度范围内损耗小,绝缘电阻高;而且具有抗辐射、耐电晕、可靠性高等特点。与纸介电容器和极性有机薄膜电容器比较,它具有平坦的电容-温度特性曲线。

独石云母电容器

monolithic mica capacitor

这是一种类似陶瓷独石或玻璃釉独石电容器结构的云母电容器。与其它云母电容器比较,具有体积小、容量大、性能稳定、电感小和高频性能好等优点。特别适用于微波通信线路,在混合集成电路中也有广泛的使用前途。

云母

mica

通常指天然云母。它是一种含有结晶水的碱金属或碱土金属的铝硅酸盐层状晶体。云母的机械强度较高,线膨胀系数较小,热导率较大,在高温下性能稳定,是一种很好的耐热绝缘材料。云母的介电性能十分优良,介电常数为7左右,介质损耗小, $\tan \delta$ 约为 $1 \sim 3 \times 10^{-4}$,而且在宽的温度和频率范围内变化很小。在室温下其体积电阻率为 $10^{14} \sim 10^{16}$ 欧姆·厘米,绝缘强度高。此外,云母还有一个突出的优点,就是具有良好的解理性即云母晶体容易沿着平面方向剥成几微米的薄片。

天然云母种类很多,常见的有白云母、金云母、黑云母、红云母、珍珠云母、钠云母和锂云母等。但在电子工业中应用最多的是白云母和金云母。

天然云母常带有一系列缺陷,如气泡、斑点、波纹和曲折不平等等。这些缺陷常使云母电性能下降,因此在使用时应根据不同的用途选择不同质量的云母片。

白云母

muscovite

白云母又名钾云母,是天然云母中蕴藏量较多的一种。它是无色透明的层状晶体,其成分为钾和铝的硅酸盐,含4~6%的结晶水。云母失水时(在 $+600^{\circ}\text{C}$ 以上),在解理面垂直方向上发生膨胀,并按解理面分层。白云母在 $+500 \sim +600^{\circ}\text{C}$ 膨胀还不明显,约在 $+800 \sim +900^{\circ}\text{C}$ 达到最大膨胀值,其线膨胀系数为 3×10^{-6} ,所以在制造电容器时,

烧银温度不宜超过 $+600^{\circ}\text{C}$ 。白云母的熔点约为 $+1230 \sim +1290^{\circ}\text{C}$ 。白云母的介电性能最好,纯净白云母的介电常数为7.3,损耗角正切为 $1 \sim 3 \times 10^{-4}$,介电常数的温度系数为 $(15 \sim 30) \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ 。制造电容器通常用白云母,此外它在电绝缘方面也有广泛的用途。

金云母

phlogopite

金云母又名琥珀云母或镁云母,颜色多呈琥珀色,含有3%以下的结晶水。优质的金云母耐热性较白云母好,最高使用温度可达 $+900 \sim +1000^{\circ}\text{C}$ 。金云母较白云母柔软,但电性能较白云母稍差。它也是一种良好的绝缘材料。

云母粉

mica powder

云母粉是利用天然云母的边角余料,经高温煅烧、化学处理并用机械方法粉碎而成,按粒度可分为多个等级。

云母粉是制造云母纸的主要原料,也是酚醛压塑粉的常用填料。纯净的云母粉制品具有良好的电性能。

合成云母

synthetic mica

合成云母有氟金云母、锂云母等数种。常用的氟金云母是以氧化铝、氧化镁、二氧化硅、氟硅化钾等在高温($+1450^{\circ}\text{C}$)下合成的。它的耐热性和稳定性比天然云母高,其性能和用途与白云母相似。

真空浸渍

vacuum impregnation

为了提高云母电容器的稳定性和改善其防潮性能,云母电容器芯子或成品(酚醛塑料压胶产品)通常用电气性能优良、防潮能力强的有机绝缘材料进行真空浸渍。其工艺过程是先真空干燥而后立即进行浸渍。为提高浸渍效果,芯子或成品在真空和1~4个

大气压下进行循环浸渍。常用的浸渍材料有纯地蜡、合成地蜡、硅油等。

压胶

moulding

压胶是云母电容器封装的方法之一。这种方法是先将塑料粉压成毛坯，将毛坯放在压胶模内再将电容器芯子放入两个毛坯之间，在一定温度和压力下压制成型。

压胶后，云母电容器形成一个坚固的整体，因此防潮性能较好。

云母电容器压胶用的塑料粉，通常是酚醛压塑粉。

浸涂封装

dip package

浸涂封装是云母电容器封装方法之一，一般采用环氧树脂。通常有以下两种工艺。

(1) 流化法 先将电容器芯子加热到一定温度，浸到用压缩空气悬浮的塑料粉中，使芯子表面粘上一层塑料粉，然后进行热处理，使塑料粉固化。该过程重复2~3次即在电容器芯子外面包上一层一定厚度的光滑涂层。为了改善外观和提高防潮能力，有时再浸封一次有机硅树脂。

(2) 浸封法 把电容器芯子浸入配制好的液体树脂中，使芯子粘上一层树脂然后进行热处理，使树脂固化，形成一定厚度的光滑涂层。

这种工艺比较简单，效率高，产品体积小，防潮性能较好。

灌注

casting

灌注是云母电容器封装的方法之一。其操作方法是配制好的树脂（通常用环氧树脂）灌入模具内加热固化成型。

这种方法一般用于温度冲击要求高的大型和形状复杂的云母电容器。灌注封装的电

容器有良好的防潮性。

注射成型

injection moulding

注射成型又叫挤塑或挤胶，也是云母电容器封装的方法之一。其工艺过程是先把电容器芯子装入模腔，立即把熔融状态的树脂借助一定的压力挤入模腔里，在芯子周围形成外壳。

玻璃膜电容器

glass-film capacitor

玻璃膜电容器是以玻璃膜作介质，以烧渗金属层（一般用银）或金属箔作电极而制成的电容器。其特点是电容量大，稳定性也较好，主要的电参数均能以调整配方来控制达到所需要的性能。它能部分代替云母电容器。

玻璃膜的主要成分是铅、钛、硅等的金属氧化物。

玻璃釉电容器

vitreous-enamel capacitor

玻璃釉电容器是由陶土、铅丹、硼酸、钛白粉等按一定比例混合焙烧淬火，再经粉碎，轧膜，印上银电极，迭片，烧结而成的“独石”结构电容器。玻璃釉是一种性能良好的介质材料，电参数可通过调整配方来控制。

这种电容器原料易得，制造过程易于自动化，性能略次于陶瓷和云母电容器。

管形玻璃微调电容器

tubular glass trimmer capacitor

它是一种精密微调电容器。其特点是结构比较牢固，可靠性较好，Q值较高，电容量温度特性稳定，工作温度范围一般为-55~+125℃。

电容器玻璃

capacitor glass

常用的电容器玻璃是低碱和无碱金属氧化物组成的。这种玻璃的介电常数不高，介

质损耗角正切值较大,一般用来制造容量不太大的低功率电容器。为提高电容器玻璃的介电常数,可采用含铅、钛等的金属氧化物电容器玻璃。

含氧化铅的电容器玻璃,同无碱和低碱玻璃相比,介电常数稍高,介质损耗角正切较小,比体积电阻率较高,熔制温度低,成型性好;但机械强度较差,熔制时氧化铅蒸气对坩锅的侵蚀严重,对人体也有不同程度的影响。

含氧化钛的电容器玻璃的特点是介电常数较大,介电常数随温度和频率的变化较小,介质损耗角正切较小,但烧结温度较高。

硅(硼)-铅-钛系玻璃,是在这类玻璃中同时引入氧化铅和二氧化钛,因而兼具上述两种玻璃的优点,不仅介电常数高,电性能优良,化学稳定性好,而且熔制温度也低,因此应用较广泛。

碱玻璃

alkali glass

含有锂、钠、钾等碱金属氧化物的玻璃

称为碱玻璃。它的软化温度较低,通常在 $+600\sim+800^{\circ}\text{C}$ 下即可烧结成外表光滑、结构致密的整体,但电性能较差。

碱玻璃在电子技术中主要用于制造各种绝缘子,也可用于制造线绕电阻器表面的珐琅釉层。

无碱玻璃

alkali-free glass

无碱玻璃是不含或含有极微量的碱金属氧化物的玻璃。最典型的是纯石英玻璃,它由石英晶体或石英砂熔化制成,介电性能相当好。

无碱玻璃通常加入三氧化二铝、氧化铅、氧化镁、氧化锌、三氧化二铋、氧化镉等金属氧化物来改进工艺性能。它的介质损耗角正切通常低于 20×10^{-4} ,并能承受 $+200^{\circ}\text{C}$ 以上的高温。

无碱玻璃在电子技术中常用来制作各种玻璃釉粉、电容器介质浆料,以及制造玻璃釉电容器等。

四、电解电容器

电解电容器

electrolytic capacitor

电解电容器以各种阀金属为正极,以其表面上形成的一层氧化膜为介质,介质与正极是不可分离的整体。负极是非固体电解质或固体电解质。

电解电容器的比体积电容量特别大,体积小,重量轻,电容量大;但工作电压低,频率特性较差,损耗角正切较大,温度特性也较差。

这种电容器按极性可分为极性、无极性和交流电解电容器;按正极金属和形状可分为铝、钽、铌、钛、钽-铌合金型,以及箔

式、烧结式和丝式等(详见分类表)。

各种电解电容器的工艺流程如下。

(1) 固体电解质烧结电解电容器:成型——烧结——形成——被膜——涂石墨——喷金——装配——老炼——测量——打标志与检验。其结构如图1所示。

(2) 芯子为卷绕的非固体工作电解质电解电容器:腐蚀——形成——备料——卷绕——浸渍——装配——老炼——测量——打标志与检验。其结构如图2所示。

电解电容器在整机中主要起滤波、旁路、耦合、隔直流、贮能等作用,它是电子设备中广泛应用的元件。

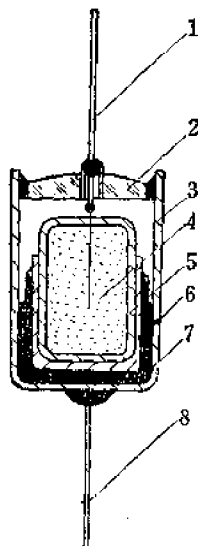
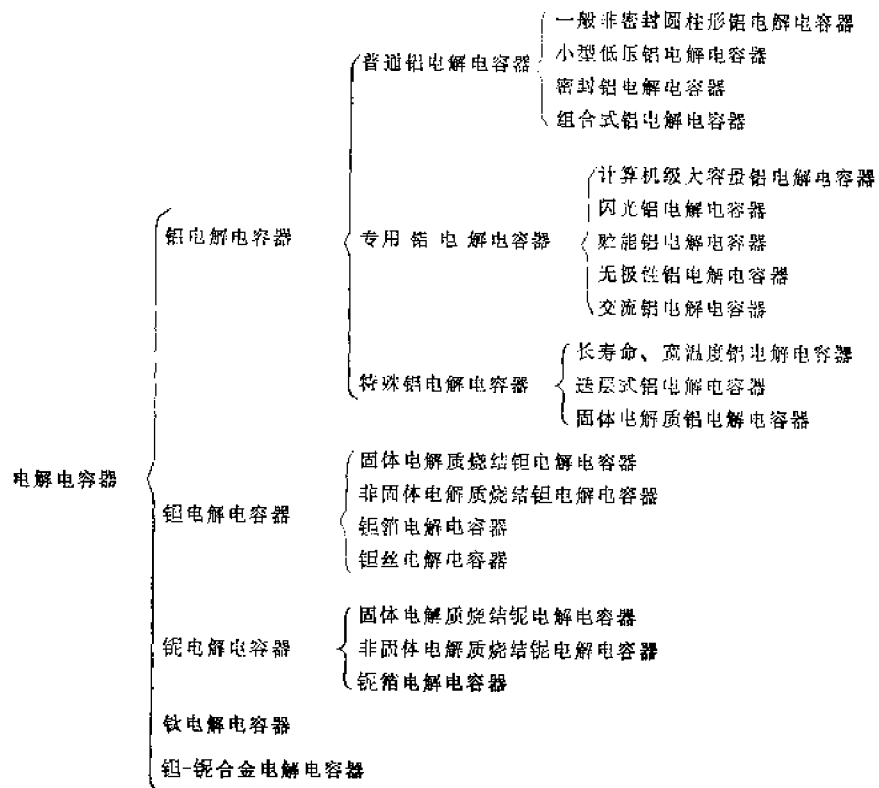


图1 固体电解质烧结电解电容器

1—阳极引出线；2—绝缘子；3—外壳；4—芯子；5—二氧化锰层；6—石墨层；7—金属层；8—阴极引出线。

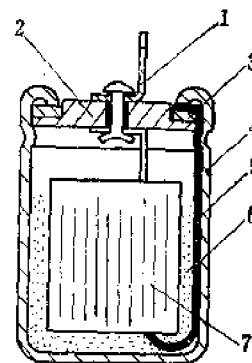


图2 卷绕芯子非固体电解质电解电容器

1—阳极引出头；2—盖板；3—橡皮垫圈；4—外壳；5—阴极引出线；6—灌注物；7—卷绕芯子。

比容

specific capacity

比容是表征钽粉（或铌粉）制作电解电容器产品的一个参数，即单位重量的电容量和形成电压的乘积值，其单位为微法·伏/克。由于钽、铌粉提纯工艺方法的差异，致使粉粒形状和大小不同，以致影响到性能间的变化。一般按比容大小不同分为三个等级，即高比容粉（3500微法·伏/克以上），中比容粉和低比容粉（2000微法·伏/克以下），高比容粉适于制作低压大容量产品，低比容粉适于制作工作电压较高的产品。

自愈

self-healing action

电解电容器在工作或贮存过程中，阳极氧化膜由于某些原因会局部受到损坏，产生一些弱点，使电容器的漏电流增大。但由于电解电容器是以电解质作为阴极，因此在外加电压的作用下，非固体电解质能放出氧，在氧化膜破坏处重新形成氧化膜，起到了自行修补作用，使电解电容器恢复其工作能力，这种现象称为电解电容器的“自愈”。

对于固体电解质，“自愈”作用主要是由于在氧化膜的局部击穿处发生高热，使 MnO_2 分解成为高阻的 Mn_2O_3 ，而将弱点“堵塞”的。

极性

polarity

电解电容器的电极一般与其它电容器不同，有正、负之分。当把电解电容器接入电路中时，正极必须接到直流电压的正极，负极则接到直流电压的负极，这就是电解电容器的极性。如果接反了，不仅电容器不能发挥其应有的作用，而且漏电流迅速增大，使电容器发热，氧化膜介质将遭到损坏，导致电容器电性能剧降，甚至完全失效。

电解电容器的极性是正极金属上生成的氧化膜介质的单向导电性造成的。

虽然电解电容器具有极性，但在结构上和工艺上采取一定措施，也可以制出无极性的或交流的电解电容器。

铝电解电容器

aluminum electrolytic capacitor

铝电解电容器是以铝为正极的电解电容器。作为介质的氧化铝膜极薄，并且介电常数较大（约7~10），因此电容器的比电容大。此外，由于铝材料源广、价廉，所以这种电容器的价格便宜。但铝的化学稳定性较差，致使电容器的损耗和漏电流较大。由于原材料纯度的提高，生产工艺的不断革新，铝电解电容器的性能已有很大的改进。

铝电解电容器的种类繁多，通常可以分为普通、专用和特殊三大类（详见“电解电容器”分类表）。

组合式铝电解电容器

combined aluminum electrolytic capacitor

这种电容器具有几个正极引出头，各个引出头可有不同的工作电压和电容量。

组合式铝电解电容器的芯子，由几张具有不同厚度的氧化铝膜的正极箔、吸附有同样工作电解质的衬垫和同一负极引出箔卷绕而成。由于各张正极箔上的氧化铝膜厚度不同，因此各组合电容器就具有不同的电容量和电压。

此类电容器优点是一个电容器顶几个电容器使用，这样可减少占空，经济，但制造工艺较复杂。

计算机级大容量铝电解电容器

computer grade large capacitance aluminum electrolytic capacitor

这种电容器主要使用在电子计算机中。其主要特点是电容量大，可达1法；比电容大，可达1000微法/厘米²；允许通过的脉动电流在电解电容器中也是最大的，可达数十安；但是损耗角正切也很大。

这类电容器按芯子结构可分为普通卷绕式与迭层式。

无极性铝电解电容器

non-polar aluminum electrolytic capacitor

电解电容器是有极性的，但是在结构上和工艺上采取特殊措施后可做出无极性铝电解电容器和交流铝电解电容器。

这两种电容器的芯子，由两张表面形成介质氧化膜的正极铝箔，中间夹以吸附有工作电解质的衬垫卷绕而成，实际形成两个电容串联的结构，所以它们的比电容比有极性铝电解电容器小。交流铝电解电容器，为了适应交流电路中应用，除工艺上采取措施外，介质的工作电场强度也适当地减小，体积也相应增大。

无极性铝电解电容器，用于极性有时要变换的直流或脉动直流电路中；交流铝电解电容器主要用于单相电容起动电动机上，可使电动机在起动时得到较高的起动转矩。

交流铝电解电容器

a.c. aluminum electrolytic capacitor

见“无极性铝电解电容器”。

长寿命-宽温度范围铝电解电容器

long life wide temperature range aluminum electrolytic capacitor

此类铝电解电容器的使用温度范围为 $-55\sim+125^{\circ}\text{C}$ ，使用寿命一般可达几万小时。

长寿命宽温度范围铝电解电容器的性能比普通铝电解电容器的优越。它主要是采用了以二甲基甲酰胺为溶剂的工作电解质和衬垫材料，使它在宽的温度范围内有良好的电性能。它的正极金属采用纯度超过99.99%的高纯铝箔，使它的漏电流较小，密封结构也得到了改进。

这种电容器因可以部分代替昂贵的钽电解电容器而正在发展中。

迭层式铝电解电容器

stacked aluminum electrolytic capacitor

它的芯子是由阴极引出箔和表面有介质氧化铝膜的阳极箔交错重迭，中间有吸附工作电解质的衬垫隔离，两端与铝丝经可靠的连接后引出而成。也可由多个无感卷绕的单元，压扁后重迭并联而成。

此类结构的电容器具有电感小、阻抗低的特点，但是工艺较复杂。

迭层式铝电解电容器有单向引出和轴向引出两种结构。轴向引出通常有四个引出头（电容器每端有正负两个引出头），通称“四端”引出。

非固体铝电解电容器

non-solid aluminum electrolytic capacitor

这种电解电容器通常叫作铝电容器。它是由两条铝箔，中间夹以浸渍非固体电解质的纤维材料带卷绕而成。其中一条铝箔上覆有介质氧化膜，是正极；另一条铝箔没有介质氧化膜（无极性铝电容器除外）是负极引出箔。负极是非固体工作电解质，成分一般是硼酸、乙二醇、氨水等。

非固体铝电解电容器具有体积小、重量轻、比电容大、价格便宜等特点。缺点是损耗和漏电流较大，频率特性差，电容量随温度和时间变化大，贮存寿命短等。

采用不同的工艺和结构，可以制成具有各种特性的铝电解电容器，例如低压大容量、高压、超小型、长寿命、大电流、无极性、无电感、闪光、计算机级等非固体铝电解电容器。

固体铝电解电容器

solid aluminum electrolytic capacitor

固体铝电解电容器，正极常采用铝箔、铝棒或铝粉烧结成的铝块，在形成介质氧化膜后，沉积一层二氧化锰作为工作电解质，

再涂一层石墨，外喷铅锡合金层作为负极引出。由于铝棒制成的电容器用途不广，铝粉易氧化，加工困难，所以主要采用铝箔。

固体铝电解电容器，由于电解质是固体的二氧化锰，所以除具有非固体铝电解电容器的特点外，其电容量随温度和时间的变化较小，贮存性能和频率特性都比非固体铝电解电容器优越。

这种电解电容器的电容量和体积也可以做得很小，电容量可小至 0.01 微法，体积可达几立方毫米。因此，可以部分代替钽电解电容器，应用在一般的厚、薄膜混合集成电路中。

钽电解电容器

tantalum electrolytic capacitor

它是由钽金属作正极的电解电容器。由于钽和作为介质的氧化钽化学稳定性很高，因此这类电容器漏电流很小，贮存性很好，可靠性较高。此外，氧化钽的介电常数比氧化铝大两倍，正极又可用钽粉压制成药片并经高温高真空烧结成的多孔体，表面积很大，虽然氧化钽的工作电场强度稍低于氧化铝，但其体积远小于铝电解电容器。

钽电解电容器按工作电解质可分为固体电解质钽电解电容器和非固体电解质钽电解电容器；按正极形状可分为烧结式、箔式、丝式（绝大部分是烧结式）。

由于钽材稀少和价格昂贵，所以这类电容器通常在要求较高的场合应用。

固体钽电解电容器

solid tantalum electrolytic capacitor

固体钽电解电容器的正极采用烧结钽块，工作电解质采用固体二氧化锰，因而不存在液体钽电解电容器工作电解质渗漏的问题。

这种电容器的温度特性、频率特性、可靠性等也优于其它电解电容器。此外，它的结构灵活多样，可制成管形、方形、片形、

珠形等，电极可轴向或单向引出，也可制成无极性电容器。

这种电容器的主要缺点是工作电压不高，最高工作电压只有 125 伏。

非固体钽电解电容器

non-solid tantalum electrolytic capacitor

又称液体烧结钽电解电容器。它采用非固体工作电解质和烧结式正极。它的优点是在单位体积内的标称电容量与工作电压的乘积特别大，已达 14000 微法·伏/厘米³，漏电流很小。主要缺点是非密封结构，在使用和贮存过程中工作电解质可能渗漏到产品外部。其次是几乎没有耐反向电压的能力。

这类电容器按外形可分为管状、帽状等。

钽箔电解电容器

tantalum foil electrolytic capacitor

它的正极是钽箔，工作电解质为液体，芯子为卷绕形式，可分为极性和无极性两类。

它的缺点是价格高，体积大。但由于频率特性较好，耐反向电压能力较强，工作电压较高，所以在特殊要求下也有少量应用。

钽丝电解电容器

tantalum wire electrolytic capacitor

这种电容器的正极用钽丝，工作电解质常采用固体二氧化锰。

它的特点是体积和电容量小，工作电压较低。

铌电解电容器

niobium electrolytic capacitor

它是由铌金属作正极的电解电容器。由于铌的比重只有钽的一半，氧化铌介质的介电常数又比氧化钽介质的要大，虽然氧化铌的工作电场强度略低于氧化钽，但相同重量的铌做成电容器后的标称电容量与工作电压值的乘积则比钽电解电容器约大一倍（在粉的粒度或箔的厚度相同条件下）。此外，铌和氧化铌介质的化学稳定性略次于钽和氧化钽，

而优于铝和氧化铝介质,所以钽电解电容器性能,也仅次于钽电解电容器而优于铝电解电容器。

此类电容器按工作电解质可分为固体和非固体电解质钽电解电容器(后者又称液体钽电解电容器),按正极形状可分烧结式和箔式。

钛电解电容器

titanium electrolytic capacitor

钛电解电容器的正极是由钛金属制成的。

钛的特点是比重较小,用特殊的电化学方法形成的介质氧化钛,其介电常数在电解电容器中是最大的。氧化钛的工作电场强度较低,钛电解电容器的性能较铝电容器差,制造工艺也较复杂。此外,钛在自然界里蕴藏丰富,价格较低。

钽-铌合金电解电容器

tantalum-niobium alloy electrolytic capacitor

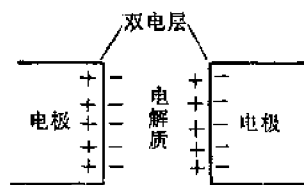
这种电容器的阳极是钽-铌合金粉烧结成的多孔性整体。介质是用电化学方法在正极表面形成的一层氧化膜。工作电解质可以用固体的或非固体的。

此类电容器的电性能,略次于钽电解电容器而优于铝电解电容器。在自然界里,钽材远比铝材为多,钽-铌合金电容器正在部分取代钽电解电容器。

双电层效应电容器

double layer electric effect capacitor

当两个电极在电解质中充电时,空间电荷在界面上就形成双电层(见图),利用这



双电层效应示意图

种效应制成的电容器称双电层效应电容器,又称电化学电容器。它的电极是表面积极大的多孔性(可达 $500\sim 1500\text{ m}^2/\text{厘米}^3$)活性炭,所以它具有优异的比电容。

这是一种新型的电容器,它的电容量随温度降低和频率升高而迅速地减小,它的主要用途是低压电源滤波。

工作电解质

working electrolyte

工作电解质是电解电容器中最重要的材料之一,它起到电解电容器阴极的功能。它还赋予电解电容器在工作过程中的“自愈”能力。

工作电解质有固体的和非固体的。通常用的固体工作电解质是二氧化锰;非固体工作电解质有液体(如二甲基甲酰胺-三乙醇胺-苦味酸电解质、硼酸铵-乙二醇电解质)和凝胶体(如硫酸与聚乙烯醇的凝胶体、硫酸与硅溶胶的凝胶体)等。

同采用固体工作电解质的电容器相比,采用非固体工作电解质时,电容器氧化膜的工作电场强度较高,比电容大,工作电压高。但是电解电容器采用固体电解质后,则根本克服了工作电解质的干涸、渗漏和性能随温度变化大等缺点。

高纯铝箔

high-purity aluminum foil

高纯铝箔是制造箔式铝电解电容器的主要材料。这种铝箔的纯度高,对铜、铁等杂质含量有严格的要求,一般纯度在99.95%以上,有些要求在99.99%以上。通常使用的铝箔厚度有0.05, 0.08, 0.1, 0.12毫米几种,它在电解电容器中主要用作阳极箔。

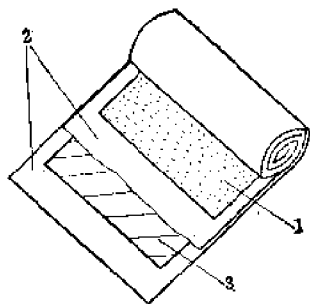
阴极引出箔

cathode lead-out foil

对于阳极为箔式、工作电解质为非固体的电解电容器,其工作电解质(电容器阴极)通常由纸或布的衬垫所吸附。为了减少损耗

和增加有效电容量,一般采用与阳极箔相对称并紧贴在衬垫上的金属箔作阴极引出,这种金属箔称为阴极引出箔(见图)。

阴极引出箔有光铝箔、腐蚀铝箔、铝锡合金箔等。



阴极引出箔在卷绕芯子中的位置

1—表面带有介质的阳极箔; 2—吸附有工作电解质的衬垫; 3—阴极引出箔。

衬垫

spacer

对于阳极为箔式、工作电解质为非固体的电解电容器,其工作电解质通常由纸带或布带所吸附,这种纸带或布带称为衬垫。

电解电容器的衬垫应具有一定的拉力强度、吸收率大、杂质含量低(特别是氯离子、硫酸根离子以及铜、铁等金属杂质含量应极少)。

钽粉

tantalum powder

钽粉是烧结钽电解电容器的主要材料。钽和氧化钽介质具有极高的化学稳定性,除氢氟酸和热浓硫酸外,几乎对所有的无机酸都有抗蚀性,对绝大部分有机酸同样有抗蚀性。

钽粉按比容(单位重量的钽粉做成电容器的电容量与室温形成电压的乘积)可分为低比容粉、中比容粉、高比容粉和超高比容粉。一般来说,钽粉比容越高,钽粉的颗粒越细,做成的电容器电性能越差。钽粉纯度越高,性能越好。

钽在自然界里蕴藏不多,精选和提炼钽矿较复杂,所以钽粉价格昂贵。

铌粉

niobium powder

铌粉是烧结铌电解电容器的主要材料。铌的比重为 8.57克/厘米^3 ,熔点为 2468°C ,用电化学方法在铌的表面形成的介质五氧化二铌(Nb_2O_5)的介电常数约为41,铌和氧化铌介质具有较高的化学稳定性。

铌在自然界中的蕴藏量比钽多,价格较钽便宜。

铝箔的腐蚀

etching of aluminum foil

腐蚀是指用化学或电化学方法扩大铝箔有效面积的过程,又称“腐炼”或“烂片”。其目的在于提高铝电解电容器的电容量(对于低压产品,电容量可提高数十倍,对于高压产品,也可提高数倍),与此同时可收到缩小体积和节省材料之效果。

化学腐蚀在联动机上进行。首先将成卷铝箔在碱溶液中去除表面油污和部分天然氧化膜,然后在盐酸溶液中进行腐蚀一定时间,再在硝酸溶液中去除金属杂质,最后用去离子水清洗并烘干。

电化学腐蚀是将直流电源的负极接入腐蚀溶液,正极与铝箔接通,以一定的电流密度进行腐蚀,所用腐蚀溶液主要是食盐溶液。

电化学腐蚀法比化学腐蚀法优越,首先是减轻了强酸及其蒸汽对人体的损害,其次是对腐蚀程度容易控制。

阳极氧化膜的形成

anodization

阳极氧化膜的形成俗称“赋能”,它是电解电容器生产过程中的一个关键工序,指用电化学方法在阳极金属表面形成一层单向导电的极薄而致密的氧化膜介质的过程。能形成这种氧化膜的金属有铝、钽、铌、钛、铍、锆、铪、钨等,其中用于制造电解电容

器的,当前主要是铝、钽、铌和钛。

赋能在盛有形成电解液的电解槽中进行,电解电容器的阳极金属接正极,电解槽接负极,按一定的电流密度升高电压到规定值,并持续一定时间。

在电解槽中形成的氧化膜介质,其厚度与质量同形成电压、形成液的温度、阳极金属纯度、形成电流密度、形成液的成分等有关。常用的形成液是硼酸溶液、磷酸溶液、磷酸乙二醇水溶液等。

阳极的烧结

anode sintering

由粉状材料压制成的阳极块,在高温高真空炉内烧成多孔性整体的过程,称阳极烧结。由于铝粉容易氧化和加工困难,目前阳极烧结主要用于钽、铌、钛粉。

烧结通常可分预烧和本烧两个阶段,预烧的目的在于排除压块时加入的粘合剂;本烧则使经预烧的芯子在高温高真空下烧成为结实的多孔性整体。

被膜

manganese oxide layer forming

在阳极氧化膜介质上,用热分解法形成电阻率很小的固体工作电解质(二氧化锰)膜层的过程,通称被膜。二氧化锰膜层,用作固体电解电容器的阴极,与此同时还赋予电容器在工作过程中的“自愈”能力。

二氧化锰膜层是硝酸锰溶液热分解形成的。硝酸锰溶液的浓度、热分解的温度和时间,以及循环次数等因素,都将影响膜的质量。

五、可变电容器

可变电容器

variable capacitor

指电容量可以在规定的范围内按一定规律变化,并能在其中任一电容量状态下工作的电容器。可变电容器主要用于无线电设备和电子仪器中的调谐回路和振荡回路,可以使这些回路的频率根据需要而改变,是主要的调谐元件。

改变回路的谐振频率,既可以通过改变回路的电容量来实现,也可以通过改变回路的电感量来实现。同变感器相对比,可变电容器虽对环境因素(如温度、湿度、冲击、振动等)比较敏感,但却具有统调和制造方便、容易满足所需要的频率变化规律等优点。因此在无线电设备和电子仪器中,广泛采用可变电容器调谐,而极少用变感器。

最大电容量

maximum capacitance

动片组全部旋进定片组时的电容量,称为最大电容量。最大电容量主要取决于应用

的频率范围。

最小电容量

minimum capacitance

动片组从定片组全部旋出时的电容量,称为最小电容量,又称起始电容量。一般指以最大电容量位置为基准,当动片组转到 180° 时电容器的电容量,但它并不等于零。其数值决定于产品本身的结构尺寸和选用的介质材料,以及最大电容量数值。

电容曲线

capacitance curve

电容曲线是电容量与动片转角的函数关系曲线,即以动片转角为横坐标(自变量),对应的电容量标称值为纵坐标(因变量)所作的一条曲线。它反映电容量的变化特性。

电容曲线主要有直线电容式、直线频率式、直线波长式和电容对数式四种。

电容量的同步性

capacitance synchronism

对于双联或多联可变电容器,为了使同

时调谐的各个回路得到统调,就要求各联的电容量完全相等,即动片转到任何角度各联的电容量都相等。这项技术要求称作电容量的同步性。

再定稳定度

resetting stability

将可变电容器的动片反复转到同一角度,每次所测得的电容量数值应与这个角度的标称值相符。实际上往往有误差,这误差称为再定稳定度。误差的绝对值越小,再定稳定度越好。

转动力矩

rotating torque

使动片组在整个转角范围内正常转动来改变电容量时所施加的力矩,称为转动力矩。每一种类型的可变电容器都具有一定的力矩范围,并且要求转动平滑均匀。力矩的大小主要取决于转动部分所受支力、接触压力、动片组的质量和结构等因素。

微音效应

microphone effect

在广播收音机中所用的可变电容器,由于极片经受扬声器发出声波的激励而按其固有振动频率振动。极片的振动使片距发生改变,片距的改变使电容量发生变化,进而引起振荡器发生频率调制作用。于是收音机的扬声器就开始发出一种低沉的音调。扬声器的声波又再度作用到电容器极片上,使振动更加激烈。这样,收音机的输入和输出以声波为媒介发生回授作用,长久地发出低沉的音调,这种现象即称为微音效应,通常亦称“机振”。其本质是由振动而引起的声电反馈,也称声反馈。

静电噪音

electrostatic noise

在有机薄膜介质可变电容器的调谐过程中,高分子介质薄膜,由于与金属动片相互摩擦,表面产生静电(负电荷)。当静电荷

积累到一定程度时会产生瞬时放电,经过各级电路放大后,使扬声器发出一定响度的噪音,称为静电噪音。

动片

rotor

可变电容器电容量的改变是通过改变极片间相对的有效重合面积得到的。可动的极片称为动片。

动片是可变电容器的重要零件之一,所用的材料,必须有良好的导电性、足够的机械强度和高精度的厚度公差。黄铜带、铝平片和锡磷青铜带,是可变电容器中常用的极片材料,有时也采用黑色金属和精密合金的冷轧带料作动片。

把一组具有一定形状的动片,各以相等的距离,固装在转轴(或轴套)上而构成的组件,称为动片组。动片组最外边一般是槽片。动片组通过轴承与座架连接。

定片

stator

可变电容器的电容量改变时,不动的极片称为定片。

定片的材料及其工艺与动片相类似。

把一组具有一定形状的定片,各以相等的距离,固装在定片柱(或轴套和定片连接片)上而构成的组件,称为定片组。定片组通过绝缘件与座架连接。

槽片

slotted vane

按一定规律开有细长辐射状狭槽的动片称为槽片,又称为花片。用槽片便于调整电容曲线和各联之间的同步性。槽片材料一般与动片相同。对于要求热稳定性高的可变电容器,为了补偿电容温度系数,槽片可用双金属片制造。

空气可变电容器

air variable capacitor

用空气作为介质的可变电容器称为空气

可变电容器。这是最普通的一种可变电容器。它的特点是制造方便，损耗小，效率高，稳定性好，但由于空气的介电常数小，所以相应的空气可变电容器的体积都大。

真空可变电容器

vacuum variable capacitor

介质为真空的可变电容器称为真空可变电容器。它的特点是损耗小，稳定性高，特别适用于高压、高频和大功率的无线电设备和电子仪器，但结构比较复杂，制造比较困难。

充气可变电容器

gas-filled variable capacitor

介质为压缩惰性气体的可变电容器，称为充气可变电容器。它的特点是体积小，耐压高，稳定性好，特别适用于高压、高频和大功率的无线电设备和电子仪器，但结构复杂，制造困难。

固体介质可变电容器

solid-dielectric variable capacitor

用固体材料作介质的可变电容器，统称固体介质可变电容器。可变电容器常用的固体材料有聚苯乙烯、聚四氟乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚砒等有机薄膜和玻璃、陶瓷、石英等无机材料。固体介质材料，因介电常数大，可以缩小可变电容器的体积，使其满足电子设备小型化的需要，但损耗较大，稳定性较差。

液体介质可变电容器

liquid-dielectric variable capacitor

指用各种液体作介质的可变电容器。所用的主要液体介质是矿物油。用液体作介质，可以缩小电容器体积，提高绝缘强度。但由于结构复杂和密封困难，因而这种电容器很少采用。

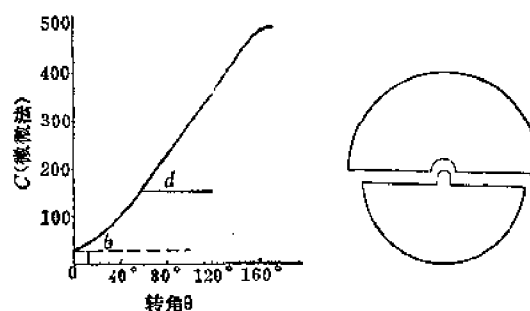
直线电容式可变电容器

linear capacitance variable capacitor

电容量变化与动片转角成直线关系的可

变电容器，称为直线电容式可变电容器。这类可变电容器具有均匀的电容等级，可以获得均匀的电容刻度。当频率覆盖系数很小时，它也可作为调谐电容器使用。

电容量与动片转角的关系曲线如图所示。



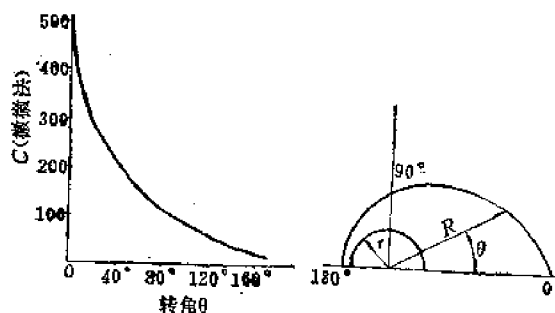
直线电容式可变电容器的 $C-\theta$ 曲线

直线频率式可变电容器

straight-line frequency variable capacitor

可使回路的频率与动片转角成直线关系的可变电容器，称为直线频率式可变电容器。在刻度盘上它能反映出均匀的频率刻度，即使回路频率均匀地改变。所以，这类可变电容器大量用于需要均匀调谐的无线电设备和电子仪器上，能比较方便地从刻度盘上直接读出频率。

这种可变电容器的电容量与动片转角的关系曲线如图所示。



直线频率式可变电容器 $C-\theta$ 曲线

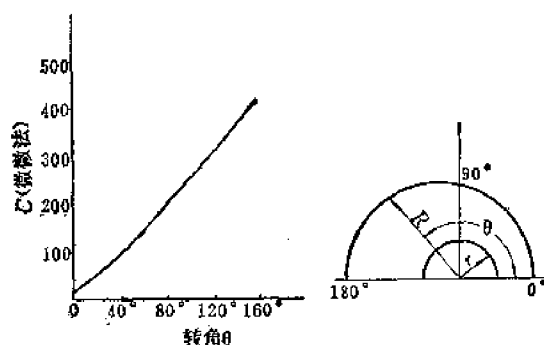
直线波长式可变电容器

straight-line wavelength variable

capacitor

可使回路的波长与动片转角成直线关系的可变电容器,称为直线波长式可变电容器。它能使回路的波长沿波段均匀地改变,而在刻度盘上获得均匀的波长刻度。同直线频率式可变电容器一样,这种电容器也在无线电技术领域得到广泛应用。

直线波长式可变电容器的电容量与动片转角的关系曲线如图所示。

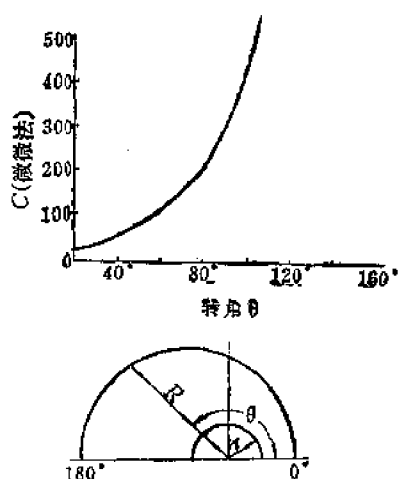


直线波长式可变电容器 $C-\theta$ 曲线

电容对数式可变电容器

logarithmic variable capacitor

电容量的对数与动片转角成直线关系的可变电容器,称为电容对数式可变电容器。这类可变电容器在动片转动同样的角度时,电容量的相对变化是一个常数,同时,频率的相对变化也是一个常数。因此,这种电容



电容对数可变电容器 $C-\theta$ 曲线

器常用在测量仪器中。但在调谐的均匀性方面则稍逊于直线电容式可变电容器。对数式可变电容器有时也用于发射机中。

这种可变电容器的电容量与动片转角的关系曲线如图所示。

主调可变电容器

main tuning variable capacitor

在无线电设备中,凡工作时其电容量能在较大范围内连续变化的,并在设备主回路中起调谐作用的可变电容器,称为主调可变电容器。

微调电容器

trimmer

指电容量可以在较小范围内调整,并于调整后固定在某个数值上工作的可变电容器。微调电容器又称半可变电容器。它主要用作垫整和补偿电容器。

半可变电容器

semi-variable capacitor

即“微调电容器”。

补偿电容器

compensating capacitor

见“微调电容器”。

单联可变电容器

single variable capacitor

指具有一组动、定片的可变电容器。它用于单一回路调谐,结构简单,制造容易。

双联可变电容器

double variable capacitor

具有两组动、定片的可变电容器,称为双联可变电容器。它可以使两个回路的频率同时变化。双联可变电容器又分为等容双联和差容双联可变电容器。等容双联可变电容器,指两联在每个转角的标称电容量都相等;差容双联可变电容器各联的每个转角标称电容量(特别是最大电容量)不尽相等。

多联可变电容器

multiple variable capacitor

具有两联以上的可变电容器,统称为多联可变电容器。根据电子设备的需要,多联可变电容器有三联、四联、五联等。在复杂的电子设备中,有时要用6~8联的可变电容器。但联数太多会使电容器的结构复杂,制造困难。这时可把多联可变电容器分成2~3个独立的部分,通过传动装置连接,将各个独立部分组合成一个整体,使各部分能同步旋转。在大多数情况下,多联可变电容器的各联电容量变化特性是相同的,最大电容量和最小电容量也往往相等。但是,有些场合也采用各联电容量不相等和电容变化不相同的多联可变电容器。

对多联可变电容器的结构来说,除了注意电容量的同步性外,还必须注意各联之间的隔离屏蔽作用。

平板形可变电容器

plate variable capacitor

指极片为平行板状的可变电容器。按极片(动片)运动方式,平板型可变电容器可分为旋转式和往复直线式两种。

旋转式是借助旋转动片改变动、定片的相对距离来改变电容量的。这种结构形式是应用最广泛的一种。其特点是制作简单。

往复直线式是以推移的动作,使动片作往复直线运动,改变动、定片间的重合面积来改变电容量。这类可变电容器的缺点是电容量的变化范围很小。

圆筒形可变电容器

cylinder variable capacitor

指极片为同心圆筒状的可变电容器。其电容量的改变是通过调节内圆筒的位置来实现的。电容量与两圆筒相对有效长度成正比。这种电容器具有调节较精细、外圆筒有屏蔽作用等优点。

对于空气介质筒形可变电容器,动子组和定子组可以由几个金属圆筒构成,以增大电容变化范围。对于固体介质可变电容器,

动子往往制成活塞状,在介质外表面涂上金属层作定子。

圆筒形可变电容器制造比较复杂,电容量与旋转角的关系为直线变化。这种电容器常作为微调电容器使用。

差动可变电容器

differential variable capacitor

这种可变电容器具有两组定片和一组公共动片。当调节动片时,其中一组电容量直线性增加,另一组则直线性减小,两组电容量之和(总电容量)为常数。这种可变电容器称为差动可变电容器。由于两组电容量都是直线性的变化,所以又称为双直线可变电容器。

差动可变电容器适用于射频可变电容分压器、电容电桥、天线耦合等场合。

蝶式可变电容器

butterfly variable capacitor

这种可变电容器具有两组定片和一组公共蝶形动片,因此称为蝶式可变电容器。当调节动片时,两组电容量增加或减少同一数值。这种电容器常用于推挽式对称射频电路的电容调节。

扩展角可变电容器

expansion-angle variable capacitor

在微波电子设备中,往往要求可变电容器具有很大的缓变性能。这种缓变可以采用机械缓动机构(蜗轮蜗杆、齿轮等)来达到,但由于机械传动有回差,可能产生读数的误差。为了避免这种误差,可采用扩展角电容器。这种电容器的动片转角范围大于 180° ,最普遍的角度范围为 270° 。用这种电容器能使读数非常准确,并且无需复杂的缓动机构。

扩展角电容器的工作原理是:当动片转动时,开始和普通电容器一样,极片重合的有效面积和电容量都随着转角而增加。当动片转角继续增加到某一位置时,其有效面积

还在增加,但同时动片的一部分已由定片中转动出来,因而有效面积的变化较小,所以电容量得到缓变。由于动片一边旋入,一边又旋出,同时旋入部分一定要比旋出部分的面积大,所以动片必须制成阶梯形或半径逐渐增大的平滑圆弧。

复合可变电容器

complex variable capacitor

由主调和微调电容器组成的可变电容器,称为复合可变电容器。主调和微调可变电容器是互相绝缘的。这类可变电容器的特点是可以减少引线,缩小电子设备体积,特

别是在高频频段可减小分布电感对回路调谐的影响,但制造比较复杂。

调频调幅可变电容器

FM-AM variable capacitor

既可以对调幅波,也可以对调频波进行调谐的可变电容器,称为调频调幅可变电容器。这种电容器一般由调频联、调幅联和微调电容器组成。对于调频联来说,由于接收频率为超高频,波段系数小,所以,最大电容量和电容变化范围都较小。这种电容器的电容变化规律通常是直线电容式。

电 感

电感器

inductor

凡能产生电感作用的器件统称电感器。一般的电感器由线圈构成，所以又称电感线圈。为了增加电感量和Q值并缩小体积，通常在线圈中都有软磁性材料的磁芯。

固定电感器

fixed inductor

具有固定电感量的电感器。

可变电感器

variable inductor, adjustable inductor

电感量可以在较大范围内进行调节。例如，长棒形磁芯在线圈中移动，棒在线圈正中电感量最大，棒移出线圈外时则电感量最小。当与固定电容器配合使用于谐振回路中可起调谐作用。

微调电感器

trimming inductor

它的电感量调节范围较小，在使用中实际上为一固定电感器，微调的目的在于满足器件和整机调试时的需要以及补偿电感器生产中的不一致性。

微调电感器按磁芯结构的不同有多种型式，如螺纹磁芯微调电感器、罐形磁芯微调电感器以及中频变压器等。

螺纹磁芯微调电感器如图1所示，是靠

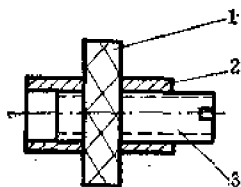


图1 螺纹磁芯微调电感器

1—线圈；2—骨架；3—螺纹磁芯。

用螺钉起子将螺纹磁芯旋入旋出以改变螺纹磁芯与线圈的相对位置来调节电感量的。

罐形磁芯微调电感器，如图2所示，靠调节杆上下移动以改变有效空气隙来改变电感量，调节范围可达40%。它主要用作载波机的滤波线圈。

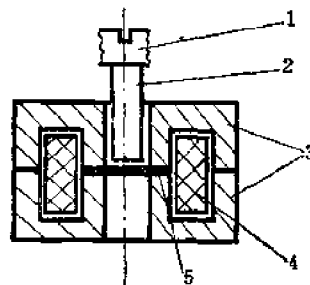


图2 罐形磁芯微调电感器

1—调节螺钉；2—调节杆；3—罐形磁芯；
4—线圈；5—空气隙。

中频变压器，如图3所示，是靠磁帽上下移动以改变有效空气隙来调节电感量的。可参见“中频变压器”条。

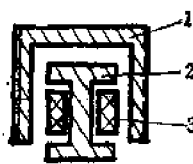


图3 中频变压器

1—磁帽；2—工字形磁芯；3—线圈。

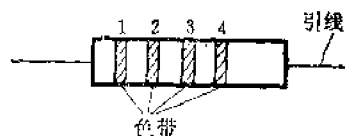
色码电感器

inductor with colour codes

用色带标示电感器性能的小型电感器叫色码电感。如图所示，它有四条色带，第1条色带标示第1位有效数字，第2条色带标示第2位有效数字，第3条色带标示乘数，第4条色带标示电感量容许误差。

现不用色带标志，而直接以数字标示性

能的就叫小型固定电感器。



色码电感器

平面电感器

film inductor

为缩小电感器体积，用薄膜电路或厚膜电路技术在绝缘（陶瓷、玻璃等）基片上制出金属平面螺旋线的电感器称平面电感器，又称膜电感。

为提高电感量，在基片上先覆一层铁氧体膜，在该磁膜上制金属螺旋线，而后再盖覆一层铁氧体膜，外层还可再加一层护膜。这种夹在两层铁氧体膜之间的平面线圈，电感量较大， Q 值也较高。也可用金属软磁材料代替铁氧体。总之，利用不同材料和采取不同设计，可制成由低频到高频的各种小型和微型膜电感器。

膜电感

film inductor

即“平面电感器”。

集成电感器

integrated inductor

指在集成电路中利用半导体阻抗特性制作的等效电感。

高 Q 电感

high Q inductor

是用于音频和高频滤波器中的电感器。它的主要技术要求是：具有高的 Q 值；电感量要求达到较高的精度；电感量应具有高稳定度，当温度、频率、电压变化时，在承受一定条件的冲击振动后，以及在潮湿条件下使用时电感量都应稳定。

目前这类元件常用高磁导率铁氧体材料制成的罐形铁芯，并有对电感量进行微调的磁芯，以保证电感量的精度。铁芯中有一定

的空气隙，以提高 Q 值和改善电感量的稳定性。

天线线圈

antenna coil

收音机输入调谐回路用的电感线圈叫天线线圈，在电子管收音机中，它与外接天线接通。电子管收音机用的天线线圈常用空心式或加可调磁芯。中波波段用的天线线圈，常用多股的丝漆包线在绝缘管上绕成蜂房线圈。短波波段用的，则常用较粗的单股铜线在纸胶管或塑料骨架上绕单层线圈。

振荡线圈

tank coil

是超外差式收音机本机振荡器振荡回路中的电感元件。一般用塑料骨架，以减少高频损耗。为了提高 Q 值，一般都有铁氧体磁芯。

阻流圈

choke, reactor

是具有一定电感量的线圈。它的基本用途是阻止高频率的电流通过。用在电源平滑滤波器中的叫滤波阻流圈；用在音频电路中的叫音频阻流圈；用在高频电路中的叫高频阻流圈。

阻流圈的结构形式及使用的材料随其用途，亦即随其工作频率而不同。

电源供给系统中用的阻流圈的工作频率一般不高于电源频率的6倍，常使用硅钢片做成的铁芯。

音频电路中用的阻流圈的频率为20~20000赫。其铁芯材料种类较多，硅钢片、铁氧体、坡莫合金等均被广泛采用。音频扼流圈要求分布电容小。

高频电路中用的阻流圈（或叫高频电感线圈），大部分采用空气芯，也有采用磁导率较稳定的铁粉芯的。

各种阻流圈在结构上及电绝缘方面的要求与同频率的变压器相似。

扼流圈

reactor

即“阻流圈”。

音频阻流圈

audio frequency choke

音频阻流圈的工作频率在音频范围内，用来阻止音频电流的通过，在它上面产生较大的音频电压降。它通常用于放大器中电子管的板极负载。

高频阻流圈

radio frequency choke

这是用来阻止高频电流通过的线圈。在无线电电路中，往往要把高频与低频电流分别开来，就是在不需要高频电流流入的电路里，串联一只高频阻流圈。高频阻流圈常与电容器串联或并联，组成滤波电路，来达到分开高低频的目的。

高频阻流圈一般用空气芯，也有加入可调磁芯的。它除了要求一定的电感量外，还特别着重减小分布电容，因为高频电流很容易通过分布电容，若分布电容过大，成了高频通路，阻流圈就失去作用。中波波段用的高频阻流圈因圈数较多，常绕成蜂房式，短波波段用的高频阻流圈圈数很少，一般平绕，并保持一定的匝距。

滤波阻流圈

smoothing choke

滤波阻流圈用来滤去整流后的波纹电压。它阻止交流分量通过，使输出直流电压平稳。

滤波阻流圈的电感量愈大，滤波的作用就愈好。一般在铁芯中常留有空气隙，以防止直流引起的磁饱和。

调幅阻流圈

modulating choke

调幅阻流圈有下列两种：

(1) 用在板极调幅电路中的调幅阻流圈

为了不使直流电流通过调幅变压器次级而增加调幅变压器设计的复杂性，并使调幅变压器能达到更高的指标，在高质量调幅电路中往往加用调幅阻流圈与隔流电容器使高频末级的直流电流通过调幅阻流圈而不通过调幅变压器。调幅阻流圈除了要求分布电容尽量小以外，与一般滤波阻流圈在设计、制造及材料上没有甚么区别。

(2) 用在自动板调电路中的调幅阻流圈

利用通过调幅阻流圈的音频电流成分在电感上产生的感应电势来进行调制。工作原理虽与上述一般调幅阻流圈不同，但在设计、制造等方面是完全一样的。

阴极输出阻流圈

cathode follower choke

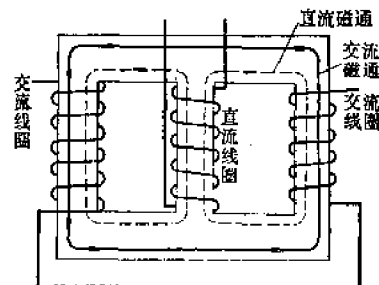
在高质量的音频功率放大器中往往有阴极输出的末前级。大功率的末前级为了减少功率损耗，可采用阻流圈式的阴极输出级。此时，接在阴极与地之间的阻流圈就叫做阴极输出阻流圈。它的优点是：(1)基本上不消耗交流功率；(2)直流功率消耗也非常小，仅在线圈上产生很小的功率损耗和直流降压。

饱和阻流圈

saturable reactor

是利用磁饱和原理在较大范围内改变电感量的阻流圈。它广泛应用在各种控制电路中，以改变接入电路的阻抗。

较常见的饱和阻流圈结构如图所示。



饱和阻流圈结构略图

当改变直流线圈（也叫控制线圈）中的直流电流时，铁芯磁饱和程度随着发生变化，因而在交流线圈上得到的电感量可以在很大范围内变化。分绕在两边的交流线圈圈数相等，并且其接法是使交流磁通在中间腿抵消，因而得到按图中所示的交流磁通途径。因此，绕在中间腿上的直流线圈上不会感应出交流电压。两只交流线圈也可以并联，但要保证其极性能使中间腿内交流磁通抵消。

饱和电抗器

saturable reactor

即“饱和阻流圈”。

充电阻流圈

charging choke

是指雷达脉冲调制器的脉冲充电电路中接入的专用充电元件。电容完全放电调制器中的充电元件通常采用阻流圈，即充电阻流圈。

充电阻流圈的电感量常在十到几十亨利之间，故用带铁芯的线圈。要求在整个充电周期内其电感不变，否则将使功率损耗大大增加，并可能产生不重复的充电波形。通常要求当负载由额定值的50%变化到额定值时，其电感量变化应不大于5%。为了保证这一要求，往往用加大铁芯的空气隙来实现。

D

dark current	6-34
dark resistance	6-34
dielectric absorption	6-46
dielectric breakdown	6-50
dielectric breakdown strength	6-50
dielectric constant	6-47
dielectric insulating strength	6-50
dielectric loss	6-49
dielectric polarization	6-46
dielectric resistivity	6-48
differential variable capacitor	6-83
dip package	6-71
directly heat thermistor	6-16
disc ceramic capacitor	6-83
disc ceramic trimmer	6-67
discharging	6-49
disk thermistor	6-17
dissipation constant	6-22
dissipation factor	6-50
dissipation power	6-21
double layer electric effect capacitor	6-77
double-sided metallized paper-plastic film capacitor	6-55
double variable capacitor	6-82
drum high voltage ceramic capacitor	6-65
drying and impregnation	6-61
dynamic resistance	6-40

E

electrical noise	6-8
electrolytic capacitor	6-72
electrophoretic coating	6-62
electrostatic noise	6-80
energy sensitivity	6-25
energy-storage capacitor	6-56
equivalent noise resistance	6-13
equivalent parallel resistance	6-50
equivalent series resistance	6-50
etching of aluminum foil	6-78
ethyl cellulose	6-58
expansion-angle variable capacitor	6-83

F

feed-through ceramic capacitor	6-64
feed-through paper capacitor	6-55
ferroelectric ceramic capacitor	6-63
field-plate	6-41
film inductor	6-86

film resistor	6-3
film varistor	6-38
fine needle thermistor	6-17
fixed inductor	6-85
fixed resistor	6-2
flake thermistor	6-17
flammability	6-52
FM-AM variable capacitor	6-84
frame	6-8
frequency characteristic	6-32
friction durability	6-14
functional potentiometer	6-11

G

gas-filled variable capacitor	6-81
gas sensitive resistor	6-43
general purpose resistor	6-2
geometrical magnetoresistance effect	6-41
germanium varistor	6-38
glass-film capacitor	6-71
glass thermistor	6-19

H

heat treatment of capacitor elements	6-81
hermetically sealed mica capacitor	6-69
hermetically sealed tubular ceramic capacitor	6-64
high-frequency ceramic capacitor	6-62
high-frequency characteristic	6-8
high-frequency potentiometer	6-12
high-frequency wire-wound resistor	6-2
high-power metal film resistor	6-5
high-power wire-wound resistor	6-2
high-purity aluminum foil	6-77
high Q inductor	6-86
high resistance resistor	6-6
high-temperature metal film resistor	6-5
high-temperature thermistor	6-19
high voltage ceramic capacitor	6-63
high voltage disc ceramic capacitor	6-65
high voltage resistor	6-6
history effect	6-35
humidity characteristic	6-45
humidity-dependent resistor	6-44
humidity hysteresis	6-45

I

illumination characteristic	6-35
illumination index	6-35

impurity photoconductivity	6-33
indirectly-heat characteristic	6-23
indirectly heat thermistor	6-16
indium antimonide photoresistor	6-31
inductance	6-51
inductor	6-85
inductor with colour codes	6-85
infra-red photoresistor	6-30
injection moulding	6-71
inorganic carbon solid composition resistor	6-3
inorganic solid composition potentiometer	6-10
insulation resistance	6-13, 6-48
integral sensitivity	6-34
integral specific sensitivity	6-34
integrated inductor	6-86
interchangeability	6-26
intrinsic photoconductivity	6-32
J	
junction type zinc oxide varistor	6-37
K	
knee point temperature	6-24
K-value	6-39
L	
lacquer film capacitor	6-54
lead selenide photoresistor	6-31
lead sulfide photoresistor	6-31
lead telluride photoresistor	6-31
leakage current	6-48
leaping voltage	6-12
light current	6-34
light resistance	6-34
linear capacitance variable capacitor	6-81
linearity	6-12
linear potentiometer	6-11
linear resistor	6-2
linear sliding potentiometer	6-11
liquid-dielectric variable capacitor	6-81
lithium chloride humidity-dependent resistor	6-44
logarithmic variable capacitor	6-82
longitudinal magnetoresistance	6-41
long life wide temperature range aluminum electrolytic capacitor	6-75
long-wavelength limit	6-33
loss	6-49
loss angle tangent	6-49
low frequency ceramic capacitor	6-63
low voltage ceramic capacitor	6-63
M	
magnetic field dependent resistor	6-41
magnetoresistance effect	6-41
magnetoresistor	6-40
magnet-potentiometer	6-41
main tuning variable capacitor	6-82
manganese oxide layer forming material constant	6-21
maximum capacitance	6-79
maximum dissipation power	6-35
maximum heat current	6-24
maximum operating current	6-7
maximum operating temperature	6-24
maximum operating voltage	6-35
maximum permitted voltage pulsation	6-24
maximum working voltage	6-7
measured power	6-21
memory effect	6-35
mercury-cadmium-tellurium photoresistor	6-32
metal film potentiometer	6-10
metal film resistor	6-4
metal glaze potentiometer	6-10
metal glaze resistor	6-5
metallization	6-60
metallization of capacitor element ends	6-61
metallized paper capacitor	6-54
metallized polytetrafluoroethylene capacitor	6-53
metal oxide film resistor	6-5
mica	6-70
mica capacitor	6-69
mica paper capacitor	6-69
mica powder	6-70
microphone effect	6-80
minimum capacitance	6-79
modulating choke	6-87
monolithic ceramic capacitor	6-66
monolithic ceramic trimmer	6-68
monolithic mica capacitor	6-69
motive noise	6-13
motor protection against overheat	6-28
moulding	6-71
multi-gang potentiometer	6-11
multiple variable capacitor	6-82
multiturn potentiometer	6-11
muscovite	6-70

N

natural capacitance	6-40
negative temperature coefficient thermistor	6-16
niobium electrolytic capacitor	6-76
niobium powder	6-78
noise potential	6-25
nominal resistance	6-7
nominal voltage	6-24
non-contact potentiometer	6-12
non-linear factor α	6-38
non-linear factor β	6-39
non-linear resistor	6-2
non-polar aluminum electrolytic capacitor	6-75
non-polar organic dielectric	6-56
non-solid aluminum electrolytic capacitor	6-75
non-solid tantalum electrolytic capacitor	6-76
non-wire-wound potentiometer	6-9
non-wire-wound resistor	6-3

O

operating current range	6-24
organic carbon solid composition resistor	6-3
organic dielectric capacitor	6-52
organic silicon oil	6-60
organic solid composition potentiometer	6-10
oscillator amplitude automatic control	6-28
oxide humidity-dependent resistor	6-45

P

paper dielectric capacitor	6-54
partial sealed mica capacitor	6-69
peak in the spectral response	6-33
peak voltage	6-25
percentage of capacitance variation with temperature	6-47
phlogopite	6-70
photoconductive effect	6-32
photoelectric current	6-34
photoelectric effect	6-32
photo-potentiometer	6-32
photoresistor	6-29
piezoresistance coefficient	6-43
piezoresistance device	6-42
piezoresistance effect	6-42

piezoresistor	6-42
plastic thermistor	6-20
plate power ceramic capacitor	6-65
plate variable capacitor	6-83
polarity	6-74
polar organic dielectric	6-56
polybutene	6-50
polycarbonate capacitor	6-53
polycarbonate film	6-53
polyethylene capacitor	6-52
polyethylene film	6-56
polyethylene terephthalate capacitor	6-53
polyethylene terephthalate film	6-57
polyimide capacitor	6-54
polyimide film	6-58
polyparaxylene film capacitor	6-56
polypropylene capacitor	6-53
polypropylene film	6-57
polystyrene capacitor	6-52
polystyrene film	6-57
polysulphone capacitor	6-54
polysulphone film	6-58
polytetrafluoroethylene capacitor	6-53
polytetrafluoroethylene film	6-57
posistor	6-15
positive temperature coefficient thermistor	6-15
post ceramic capacitor	6-65
potentiometer	6-8
potentiometer with lock nut	6-11
potentiometer with switch	6-11
power ceramic capacitor	6-65
power characteristic	6-39
power factor	6-49
power pot ceramic capacitor	6-65
power rating	6-7
power sensitivity	6-25
power tubular ceramic capacitor	6-65
precision metal film resistor	6-4
precision potentiometer	6-11
precision wire wound resistor	6-2
preliminary lacquering	6-60
pure mineral wax	6-59
pyrolytical carbon film resistor	6-4

Q

Q-factor	6-49
----------	------

R

radio frequency choke	6-37
-----------------------	------

rated capacitance	6-47	silver ink	6-69
rated operational voltage	6-51	silver ink firing	6-69
rated power	6-21	silver pastebrushing	6-68
ratio characteristic	6-51	silver pasteprinting	6-68
ratio of starting torques	6-14	silver paste spraying	6-68
reactor	6-86, 6-87	single grain layer varistor	6-38
reduction-oxidation ceramic capacitor	6-67	single variable capacitor	6-82
relaxation time	6-35	slider material	6-14
relay effect	6-25	slope value	6-35
resetting stability	6-80	slotted vane	6-80
resistance adjustment by engraving	6-9	smoothing choke	6-81
resistance network	6-6	smoothness characteristic	6-13
resistance-power characteristic	6-23	solid aluminum electrolytic capacitor	6-75
resistance sensitivity	6-34	solid-dielectric variable capacitor	6-81
resistance-temperature characteristic		solid potentiometer	6-10
of gas sensitive resistor	6-44	solid tantalum electrolytic capacitor	6-76
resistance-temperature characteristic		spacer	6-78
of thermistor	6-22	special-purpose carbon film resistor	6-4
resistance-temperature coefficient	6-7	specific capacity	6-74
resistance-temperature coefficient of		specific sensitivity	6-34
thermistor	6-21	spectral characteristic	6-33
resistance-temperature coefficient of		spectral response range	6-33
varistor	6-40	spectral sensitivity	6-33
resistance tolerance	6-7	square thermistor	6-17
resistivity	6-7	stability	6-52
resistor	6-1	stacked aluminum electrolytic	
resistor noise	6-8	capacitor	6-75
resolution	6-13	stacked ceramic capacitor	6-64
rheostat	6-6	stacked-foil mica capacitor	6-69
rod thermistor	6-16	standard resistor	6-6
rotating potentiometer	6-11	starting torque	6-13
rotating torque	6-14, 6-80	static resistance	6-40
rotor	6-80	stator	6-80
S		step characteristic	6-12
		stop torque	6-13
saturable reactor	6-87, 6-88	straight-line frequency variable capacitor	6-81
screen printing of silver paste	6-68	straight-line wavelength variable capacitor	6-81
selenium photoresistor	6-30	citor	6-81
selenium-tellurium alloy piezoresistor	6-42	substrate	6-8
self-healing action	6-60, 6-74	surge-resistant capability	6-39
semiconductor ceramic capacitor	6-66	switch temperature	6-25
semiconductor glass thermistor	6-19	symmetric varistor	6-38
semi-variable capacitor	6-82	synthetic mica	6-70
sensitive resistor	6-15	T	
sensitivity	6-33, 6-43		
short-circuiting stripe	6-41	tank coil	6-86
silicon carbide varistor	6-36	tantalum electrolytic capacitor	6-76
silicon carbon film resistor	6-4	tantalum foil electrolytic capacitor	6-76
silicon photoresistor	6-30	tantalum-niobium alloy electrolytic	
silicon piezoresistor	6-42	capacitor	6-77
silicon varistor	6-37	tantalum nitride film resistor	6-5
silver electrode firing	6-69	tantalum powder	6-78

tantalum wire electrolytic capacitor 6-76
 tap potentiometer 6-11
 temperature characteristic 6-52
 temperature coefficient 6-35
 temperature coefficient of capacitance 6-47
 temperature coefficient of current 6-35
 temperature compensation by thermistor 6-26
 temperature compensation ceramic capacitor 6-62
 test voltage 6-51
 thermal ageing properties 6-24
 thermal capacity 6-25
 thermal coupling constant 6-22, 6-25
 thermal noise 6-8
 thermistor 6-15
 thermistor bolometer 6-18
 thermistor flow meter 6-21
 thermistor power meter 6-26
 thermistor switch 6-28
 thermistor thermometer 6-26
 thermistor time delay relay 6-28
 thermistor vacuum gauge 6-27
 thermistor voltage stabilizer 6-27
 thick film thermistor 6-18
 thin film thermistor 6-18
 through-current capability 6-39
 time constant of capacitor 6-48
 time constant of humidity-dependent resistor 6-45
 time constant of photoresistor 6-34
 time constant of thermistor 6-22
 time delay characteristic 6-23
 titanium electrolytic capacitor 6-77
 transverse magnetoresistance 6-41
 trimmer 6-32
 trimmer potentiometer 6-11
 trimming inductor 6-85
 tubular ceramic capacitor 6-63
 tubular ceramic trimmer 6-68
 tubular glass trimmer capacitor 6-71
 type I ceramic capacitor 6-62
 type II ceramic capacitor 6-62

U

UHF disc ceramic capacitor 6-63
 ultra-high-frequency carbon film resistor 6-4

ultra-low-temperature thermistor 6-19
 ultra-violet photoresistor 6-30
 uniaxial germanium thermistor 6-20
 uniaxial silicon thermistor 6-20

V

vacuum carbon-coating 6-8
 vacuum impregnation 6-70
 vacuum megohm resistor 6-6
 vacuum variable capacitor 6-81
 variable capacitor 6-79
 variable inductor 6-25
 variable resistor 6-2
 variable wire-wound resistor 6-6
 varistor 6-35
 vaseline 6-59
 V-I characteristic of gas sensitive resistor 6-44
 V-I characteristic of photoresistor 6-35
 V-I characteristic of thermistor 6-23
 V-I characteristic of varistor 6-38
 visible light photoresistor 6-30
 vitreous-enamel capacitor 6-71
 voltage aging 6-61
 voltage coefficient 6-7, 6-22
 voltage-dependent resistor 6-35
 voltage ratio 6-40
 voltage stabilizer thermistor 6-18
 voltage temperature coefficient 6-39

W

washer thermistor 6-16
 water-cooled carbon film resistor 6-4
 winding of capacitor elements 6-61
 wire-tube form thermistor 6-17
 wire-wound ceramic trimmer 6-68
 wire-wound potentiometer 6-9
 wire-wound resistor 6-2
 working electrolyte 6-77
 working resistance 6-20

Z

zeropoint resistance 6-13
 zinc oxide varistor 6-36